

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή εργασία

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ  
ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ  
ΚΤΙΡΙΟΥ

Άγγελος Μοσφιλιώτης  
Ζαχαρίας Συμεού

Λεμεσός 2016



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

## **Πτυχιακή εργασία**

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ  
ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ  
ΚΤΙΡΙΟΥ

Άγγελος Μοσφιλιώτης  
Ζαχαρίας Συμεού

Σύμβουλος καθηγητής  
Δρ. Σωτήρης Καλογήρου

Λεμεσός 2016

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Άγγελος Μοσφιλιώτης, Ζαχαρίας Συμεού, [2015-2016]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στον Δρ. κ. Σωτήρη Καλογήρου ο οποίος ήταν ο επιβλέπωντας καθηγητής μας, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, για την σωστή και συνεχή καθοδήγηση του, αλλά και για το ενδιαφέρον του μέχρι την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την μεταπτυχιακό-ερευνητή της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, Ραφαέλα Αγαθοκλέους για την βοήθεια της κατά την διάρκεια των πειραμάτων και για την καθοδήγηση της για τον σωστό χειρισμό των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη των μετρήσεων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει θέμα «Ενσωμάτωση ηλιακών θερμικών συλλεκτών αέρα στην πρόσοψη κτιρίου». Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η μελέτη της απόδοσης δύο ηλιακών θερμικών συλλεκτών αέρα που θα εγκατασταθούν στην πρόσοψη κτηρίου, οι οποίοι αποφασίστηκαν, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στα συγκεκριμένα συστήματα είναι πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους, έτσι έγινε θερμική ανάλυση μέσα από την οποία μελετήθηκαν οι πιο σημαντικές παράμετροι και έγιναν εισηγήσεις για τρόπους βελτίωσής τους.

Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή για την ηλιακή ενέργεια και τους λόγους που οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα στην ανάπτυξη και βελτίωση εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έπειτα, γίνεται ιστορική αναδρομή και βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου αναφέρονται σε μελέτες που έγιναν μέχρι σήμερα και σχετίζονται με το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ακολούθως, παρουσιάζονται οι διάφορες ιδέες που προέκυψαν μέσα από την μέθοδο «καταιγισμού ιδεών», καθώς επίσης και η αξιολόγηση τους με την μέθοδο Κόστους-Οφέλους για την επιλογή των τελικών ιδεών.

Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη για δημιουργία ενός υπολογιστικού μοντέλου θερμικής ανάλυσης που αντιπροσωπεύει τους δυο ηλιακούς συλλέκτες, το οποίο εισάχθηκε σε λογισμικό πρόγραμμα που δημιουργήθηκε στο λογισμικό φύλλο του προγράμματος «Microsoft Office Excel». Μέσω του προγράμματος αυτού, υπολογίστηκαν τα βέλτιστα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δυο συλλεκτών βάση των οποίων έγιναν τα κατασκευαστικά τους σχέδια με την βοήθεια του προγράμματος «solidworks». Ακολούθως, παρατίθενται όλα τα στάδια που ακολουθήθηκαν μέχρι την τελική τους κατασκευή.

Επιπλέον, παρουσιάζονται όλα τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων, καθώς επίσης και η ακρίβεια του καθενός. Παράλληλα, γίνεται παρουσίαση της όλης πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε και η καταγραφή όλων των αποτελεσμάτων για τους δυο ηλιακούς συλλέκτες. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα είναι ότι οι συλλέκτες λειτουργούν σε σχετικά υψηλή απόδοση της τάξης του 70% και η ποσότητα ωφέλιμης ενέργειας που συλλέγετε σε μία ημέρα είναι ίση με 333,07 MJ.

Στο τέλος, έγινε μελέτη για εφαρμογή των δύο συλλεκτών σε μεγαλύτερο σύστημα και καταγράφηκαν σημαντικά σχόλια, βάση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μελέτης.

Τελικά, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εν λόγω πτυχιακή εργασία, καθώς επίσης και μερικές προοπτικές χρήσης των δυο ιδεών όσο αφορούν μελλοντικές εφαρμογές.

## **ABSTRACT**

This thesis is on the “Integration of Solar Thermal Air Collectors on Building Facades”. The main objective of this thesis is to study the performance of two solar thermal air collectors which were installed on the facade of a sample wall. The solar thermal air collectors were selected, designed and constructed within the context of this thesis. In these specific systems, the factors which influence their performance are many, so a thermal analysis was conducted, to study their behavior and suggestions were made on the ways to improve it.

Initially, an introduction of solar energy is presented and the reasons why the scientific community is driven to develop and improve alternative methods of energy and particularly renewable energy resources is given. Then a literature review of the bibliography of the subject was carried out, where a number of studies which have been published to date and are associated with the subject of this thesis are examined.

Subsequently, the different ideas, which came up through brainstorming sessions were presented, as well as their evaluation with the method of Cost – Benefit analysis. In this way the final selection of the particular ideas to develop is made.

Following this, a study was carried out for the development of a thermal analysis model to examine in detail the behaviour of the two solar collectors. This is introduced in Microsoft Office Excel. Through this program, the best geometric characteristics of the two collectors were estimated, on which their construction details were based. The technical details of the two collectors were then drafted with the help of “Solidworks” program. Then all the stages which followed were presented, up to their final construction and installation on the wall.

Furthermore, all the instruments which were used during the experiments were presented, as well as their accuracy. This is followed by the presentation of the complete experimental process and of the results from all tests carried out for the two solar collectors. The most important findings are that the collectors work at a relatively high efficiency of 70% and the amount of useful energy collected over a day is 333,07 MJ.

Finally, a study was carried out, for the application of the two collectors on larger systems, and important comments were presented, based on the results of the specific small-scale units constructed and tested. The conclusions which were reached in consequence of this thesis are given, as well as several prospects of the use of the two ideas may be used in future applications.

## **ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

ΤΕ.ΠΑ.Κ      Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΑΠΕ          Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

BISTS        Building Integration of Solar Thermal Systems



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ABSTRACT .....	iii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	x
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ηλιακή Ενέργεια .....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	5
1.4 Ηλιακοί Συλλέκτες .....	15
1.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλιακών συλλεκτών αέρα .....	15
1.4.2 Τα Κύρια μέρη που αποτελούν ένα ηλιακό συλλέκτη.....	16
2. ΙΔΕΕΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ ΚΤΗΡΙΟΥ .....	18
2.1 Καταιγισμός ιδεών .....	18
2.1.1 Πρώτη Ιδέα: Συλλέκτης αέρα κατασκευασμένος από αλουμινένια τενεκεδάκια..	18
2.1.2 Δεύτερη Ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης αέρα από σωλήνες χαλκού .....	19
2.1.3 Τρίτη Ιδέα: Συλλεκτής αέρα με τεράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα).....	20
2.1.4 Τέταρτη ιδέα: Συλλέκτης αέρα με ενσωματωμένο εύκαμπτο σωλήνα αλουμινίου	21
2.1.5 Πέμπτη ιδέα: Συλλέκτης αέρα με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	22
2.1.6 Έκτη ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια στην κατεύθυνση ροής του αέρα.....	23
2.1.7 Έβδομη ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης αέρα σε μορφή αγωγού .....	24
2.2 Διαδικασία λήψης τελικής απόφασης .....	25
3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ ΚΤΥΡΙΟΥ .....	28
3.1 Θερμική ανάλυση.....	28
3.1.1 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης εξαναγκασμένης συναγωγής και ακτινοβολίας εξωτερικά του συλλέκτη ( $h_a$ ).....	30
3.1.2 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης φυσικής συναγωγής και ακτινοβολίας εσωτερικά του συλλέκτη ( $h_b$ ) .....	31
3.1.3 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης εξαναγκασμένης συναγωγής και ακτινοβολίας εσωτερικά του ηλιακού συλλέκτη ( $h_c$ ).....	33
3.1.4 Υπολογισμός συνολικού συντελεστή απώλειας ενέργειας ( $U_L$ ) χρησιμοποιώντας την μέθοδο των αντιστάσεων .....	33

3.2 Υδραυλική ανάλυση.....	34
3.2.1 Υπολογισμός παράγοντα τριβής $f$ .....	36
3.3 Λογισμικό προσομοίωσης .....	37
3.4 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών συλλεκτών.....	39
3.5 Συμπεράσματα από την ανάλυση των δύο συλλεκτών.....	47
3.6 Τελικές τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των συλλεκτών .....	47
4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ.....	48
4.1 Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	48
4.2 Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	49
4.3 Στάδια κατασκευής του κάθε συλλέκτη .....	51
4.3.1 Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	52
4.3.2 Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	62
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	70
5.1 Όργανα μέτρησης.....	70
5.1.1 Θερμοζεύγοι .....	70
5.1.2 Πυρανόμετρο και πολύμετρο .....	71
5.1.3 Θερμόμετρο .....	72
5.1.4 Θερμοκάμερα .....	72
5.1.5 Ανεμόμετρο .....	73
5.2 Πειραματική διαδικασία.....	74
5.2.1 Χρόνος σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου των συλλεκτών.....	74
5.2.2 Σύγκριση ακτινοβολίας με την διαφορά θερμοκρασίας η ώρα 15:00 .....	76
5.2.3 Σύγκριση ακτινοβολίας με την διαφορά θερμοκρασίας η ώρα 12:00 .....	78
5.2.4 Χρόνος ψύξης και θέρμανσης .....	80
5.2.5 Ημερήσια απόδοση.....	83
5.2.6 Ανάλυση απόδοσης συλλεκτών.....	85
5.2.7 Ανάλυση ωφέλιμης ενέργειας συλλεκτών.....	87
5.3 Ανάλυση θερμογραφήματος.....	89
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
6.1 Γενικά συμπεράσματα.....	91
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση .....	92
6.3 Μελλοντικές εφαρμογές.....	92
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	96

8.1 Παράρτημα Α: Πίνακες και Διαγράμματα .....	96
8.2 Παράρτημα Β: Υπολογισμός ιδιοτήτων αέρα για χρήση στην Excel.....	98
8.3 Παράρτημα Γ: Ιδιότητες Υλικών .....	101
8.4 Παράρτημα Δ: Στοιχεία Ανεμιστήρα .....	103
8.5 Παράρτημα Ε: Κατασκευαστικά Σχέδια .....	104

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2- 1: Πίνακας συμβόλων.....	25
Πίνακας 2- 2:Πίνακας βαρύτητας χαρακτηριστικών .....	25
Πίνακας 2- 3:Πίνακας Κλίμακας Βαθμολόγησης .....	25
Πίνακας 2- 4:Πίνακας βαθμού ικανοποίησης .....	26
Πίνακας 2- 5:Πίνακας Σταθμισμένου Δείκτη Ικανοποίησης ( $P_{ji}$ ) .....	26
Πίνακας 2- 6:Πίνακας Υπολογισμού Οφέλους .....	26
Πίνακας 3- 1: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την ροή μάζας για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	39
Πίνακας 3- 2: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την υδραυλική διάμετρο για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	41
Πίνακας 3- 3: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την ροή μάζας για το συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα).....	43
Πίνακας 3- 4: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την υδραυλική διάμετρο για το συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	45
Πίνακας 4- 1: Υλικά κατασκευής και κοστολόγηση .....	48
Πίνακας 4- 2: Υλικά κατασκευής και κοστολόγηση .....	49

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1- 1: Συλλέκτες αέρα διπλού περάσματος σε μορφή πλάκας με πόρους (B), καθώς και χωρίς πόρους(A).....	5
Σχήμα 1- 2: Διάταξη ηλιακού συλλέκτη πρόσοψης .....	6
Σχήμα 1- 3: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια μέσα στη διαδρομή ροής του αέρα .	7
Σχήμα 1- 4: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια κάθετα στη διαδρομή ροής του αέρα .....	8
Σχήμα 1- 5: Πειραματική διάταξη συλλέκτη .....	9
Σχήμα 1- 6: Τομή με τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη .....	9
Σχήμα 1- 7: Γεωμετρία του συλλέκτη (δεξιά) και η κατακόρυφη τομή του(αριστερά).....	10
Σχήμα 1- 8: Τομή με τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη .....	12
Σχήμα 1- 9: Πειραματική διάταξη συλλέκτη σε εσωτερικό ηλιακό προσομοιωτή .....	12
Σχήμα 1- 10: Συλλέκτης A .....	14
Σχήμα 1- 11: Κύρια μέρη ηλιακού συλλέκτη.....	16
Σχήμα 1- 12: Γραφική παράσταση ποσοστού εφαρμογής – διάφορα συστήματα .....	17
Σχήμα 2- 1: Συλλέκτης αέρα από αλουμινένια τενεκεδάκια .....	18
Σχήμα 2- 2: Ηλιακός συλλέκτης αέρα από σωλήνες χαλκού .....	19
Σχήμα 2- 3: Συλλέκτης αέρα με τεράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	20
Σχήμα 2- 4: Συλλέκτης αέρα με ενσωματωμένο εύκαμπτο σωλήνα αλουμινίου .....	21
Σχήμα 2- 5: Συλλέκτης αέρα με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)...	22
Σχήμα 2- 6: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια στην κατεύθυνση ροής του αέρα ..	23
Σχήμα 2- 7: Ηλιακός συλλέκτης αέρα σε μορφή αγωγού .....	24
Σχήμα 3- 1: Δίκτυο αντιστάσεων .....	28

Σχήμα 3- 2: Διάγραμμα ροής της θερμικής ανάλυσης .....	38
Σχήμα 3- 3: Γραφική παράσταση απόδοσης - ροής μάζας.....	40
Σχήμα 3- 4: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - ροής μάζας.....	40
Σχήμα 3- 5: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - ροής μάζας.....	40
Σχήμα 3- 6: Γραφική παράσταση απόδοσης - υδραυλικής διαμέτρου.....	41
Σχήμα 3- 7: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - υδραυλικής διαμέτρου .....	42
Σχήμα 3- 8: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - υδραυλικής διαμέτρου.....	42
Σχήμα 3- 9: Γραφική παράσταση ισχύς - υδραυλικής διαμέτρου .....	42
Σχήμα 3- 10: Γραφική παράσταση απόδοσης - ροής μάζας.....	43
Σχήμα 3- 11: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - ροής μάζας.....	44
Σχήμα 3- 12: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - ροής μάζας.....	44
Σχήμα 3- 13: Γραφική παράσταση απόδοσης - υδραυλικής διαμέτρου .....	45
Σχήμα 3- 14: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - υδραυλικής διαμέτρου .....	46
Σχήμα 3- 15: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - υδραυλικής διαμέτρου .....	46
Σχήμα 3- 16: Γραφική παράσταση ισχύς - υδραυλικής διαμέτρου .....	46
Σχήμα 3- 17: Ανεμιστήρας TD - 160/100 N SILLENT .....	47
Σχήμα 4- 1: Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	50
Σχήμα 4- 2: Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	50
Σχήμα 4- 3: Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	51
Σχήμα 4- 4: Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	51
Σχήμα 4- 5: Κατασκευή ξύλινου πλαισίου.....	52
Σχήμα 4- 6: Τοποθέτηση πετροβάμβακα περιμετρικά του πλαισίου .....	53
Σχήμα 4- 7: Δημιουργία οπών.....	53

Σχήμα 4- 8: Ενσωμάτωση λαμαρίνας περιμετρικά του πλαισίου .....	54
Σχήμα 4- 9: Σκελετός από μεταλλικά Π.....	55
Σχήμα 4- 10: Τοποθέτηση πετροβάμβακα στο πίσω μέρος του συλλέκτη.....	55
Σχήμα 4- 11: Τοποθέτηση λαμαρίνας και κοινής σιλκόνης.....	56
Σχήμα 4- 13: Τοποθέτηση διαχωριστικών μεταλλικών τοιχωμάτων τύπου Π.....	57
Σχήμα 4- 12: Τοποθέτηση στρώσεων σιλκόνης φωτιάς.....	57
Σχήμα 4- 14: Τοποθέτηση απορροφητικής πλάκας.....	58
Σχήμα 4- 15: Μπογιάτιστα απορροφητικής πλάκας με αστάρι .....	59
Σχήμα 4- 16: Μπογιάτιστα απορροφητικής πλάκας με μαύρη Mad μπογιά.....	59
Σχήμα 4- 17: Τοποθέτηση αυτοκόλλητης ταινίας (Foum) .....	60
Σχήμα 4- 18: Τοποθέτηση υαλοπίνακα .....	60
Σχήμα 4- 19: Τοποθέτηση ανεμιστήρα .....	61
Σχήμα 4- 20: Κατασκευή ξύλινου πλαισίου.....	62
Σχήμα 4- 21: Τοποθέτηση πετροβάμβακα περιμετρικά του πλαισίου .....	63
Σχήμα 4- 22: Δημιουργία οπών.....	63
Σχήμα 4- 23: Τοποθέτηση γαλβανιζέ λαμαρίνας εσωτερικά του πλαισίου.....	64
Σχήμα 4- 25: Σκελετός από μεταλλικά Π.....	64
Σχήμα 4- 24: Τοποθέτηση πετροβάμβακα .....	64
Σχήμα 4- 26: Κατασκευή αγωγού με πασαμάννα .....	65
Σχήμα 4- 27: Τοποθέτηση της απορροφητικής πλάκας και του αγωγού στο συλλέκτη .....	66
Σχήμα 4- 29: Τοποθέτηση αυτοκόλλητης ταινίας (Foum) .....	67
Σχήμα 4- 28: Μπογιάτιστα με αστάρι και μαύρη Mad μπογιά της απορροφητικής πλάκας και του αγωγού .....	67

Σχήμα 4- 30: Τοποθέτηση υαλοπίνακα .....	68
Σχήμα 4- 31: Τοποθέτηση ανεμιστήρα .....	69
Σχήμα 5- 1: Σημεία λήψεις θερμοκρασιών .....	70
Σχήμα 5- 3: Πυρανόμετρο .....	71
Σχήμα 5- 4: Πολύμετρο .....	71
Σχήμα 5- 2: Σταθερά Πυρανόμετρου .....	71
Σχήμα 5- 5: Θερμόμετρο TECPELDTM-318 .....	72
Σχήμα 5- 6: Θερμοκάμερα FLIR B335 .....	72
Σχήμα 5- 7: Ανεμόμετρο L.M -8000 .....	73
Σχήμα 5- 8: Γραφική παράσταση σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	74
Σχήμα 5- 9: Γραφική παράσταση σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	75
Σχήμα 5- 10: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) η ώρα 15:00 .....	76
Σχήμα 5- 11: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) η ώρα 15:00 .....	77
Σχήμα 5- 12: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) η ώρα 12:00 .....	78
Σχήμα 5- 13: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) η ώρα 12:00 .....	79
Σχήμα 5- 14: Σκίαση των συλλεκτών με χαρτόνι.....	80
Σχήμα 5- 15: Γραφική παράσταση χρόνου ψύξης - θέρμανσης συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	81
Σχήμα 5- 16: Γραφική παράσταση χρόνου ψύξης - θέρμανσης συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα).....	82



Σχήμα 5- 17: Γραφική παράσταση ολοήμερων μετρήσεων συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) .....	83
Σχήμα 5- 18: Γραφική παράσταση ολοήμερων μετρήσεων συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	84
Σχήμα 5- 19: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	85
Σχήμα 5- 20: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα).....	86
Σχήμα 5- 21: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη νερού .....	87
Σχήμα 5- 22: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	88
Σχήμα 5- 23: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) .....	88
Σχήμα 5- 24: Θερμογράφημα συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π).....	90
Σχήμα 5- 25: Θερμογράφημα συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα).....	90
Σχήμα 6- 1: Εφαρμογή συλλεκτών σε μεγάλο σύστημα .....	93

# 1 . ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της. Η ενέργεια αυτή είναι απαραίτητη για την Γη και διαδραματίζει ρόλο πρωτεύοντα σε ένα πλήθος φαινομένων που παρατηρούνται στον πλανήτη μας. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Μέχρι το πρόσφατο παρελθόν, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στηριζόταν κατά κόρον σε συμβατικές μεθόδους με χρήση πρώτων υλών όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και ο λιγνίτης. Όμως, η δραματική μείωση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου καθώς και η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος από τα παράγωγα των συμβατικών τρόπων παραγωγής, οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα στην ανάπτυξη και βελτίωση εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την αιολική και την ηλιακή να συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Αν αξιοποιηθεί σε μέγιστο βαθμό μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό όπλο ενάντια στην χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως ρυπογόνων καυσίμων που χρόνια τώρα ζημιώνουν το περιβάλλον.

Ο ήλιος αποτελεί ανανεώσιμη πηγή η οποία μπορεί να προσφέρει ενέργεια προσιτή σε όλους τουλάχιστον για τα επόμενα 5 δισεκατομμύρια χρόνια, αφού η ακτινοβολία που φθάνει στη Γη επαρκεί να καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες κατά δέκα χιλιάδες φορές. Για αυτό είναι προφανές ότι μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην επίλυση των προβλημάτων που οφείλονται στην ενεργειακή εξάρτηση αφού έχει πελώρια περιθώρια ανάπτυξης.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Όπως είναι φυσικό, προέκυψε το ζήτημα πως θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε άμεσα την ηλιακή ενέργεια. Το πρόβλημα αυτό απασχόλησε τον άνθρωπο από τα πολύ παλιά ακόμα χρόνια.

Η ιδέα της χρήσης του ηλιακού συλλέκτη ενέργειας για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας καταγράφεται από τους προϊστορικούς χρόνους. Υπάρχει ο θρύλος ότι το 212 π.Χ, ο Έλληνας επιστήμονας και γιατρός Αρχιμήδης κατέστρεψε το ρωμαϊκό στόλο σε μια επίθεση του κατά των Συρακουσών, βάζοντας φωτιά στα ιστιοφόρα με την βοήθεια μιας συστοιχίας από καθρέφτες (Kalogirou, 2004).

Μετά από 118 χρόνια, ο Αθανάσιος Kircher (1601-1680) πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων για να επιβεβαιώσει εάν η ιστορία του Αρχιμήδη είχε κάποια επιστημονική εγκυρότητα, βάζοντας φωτιά σε ένα σωρό από ξύλα σε μια απόσταση. Καμιά όμως έκθεση των πορισμάτων του επέζησε (Kalogirou, 2004).

Τον 18ο αιώνα, κατασκευάστηκαν ηλιακοί φούρνοι από στιλβωμένο σίδηρο, φακούς από γυαλί και καθρέφτες. Οι συγκεκριμένοι φούρνοι ήταν ικανοί για την τήξη σιδήρου, χαλκού και άλλων μετάλλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν σε όλη την Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή. Ο Γάλλος επιστήμονας Αντουάν Λαβουαζιέ κατασκεύασε ένα κλίβανο ο οποίος επιτύγχανε μια αξιοσημείωτη θερμοκρασία των 1750 °C μέσω δύο φακών με ακτίνα 1,32m και 0,2m αντίστοιχα. Αυτή η θερμοκρασία ήταν η μέγιστη για τα επόμενα εκατό χρόνια (Kalogirou, 2004).

Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα έγιναν προσπάθειες μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε άλλες μορφές όπως την παραγωγή χαμηλής πίεσης ατμού για την λειτουργία ατμομηχανών. Μεταξύ των ετών 1864-1878, ο August Monchot πρωτοπόρος στον τομέα αυτό κατασκεύασε αρκετές ηλιακές ατμομηχανές. Η κυβέρνηση της Γαλλίας μέσω μιας αξιολόγησης της μηχανής που πραγματοποιήθηκε στο Tours, θεώρησε ότι ήταν πολύ ακριβή για να είναι εφικτή (Kalogirou, 2004).

Το 1875 ο Mouchot έκανε μια αξιοσημείωτη πρόοδο σχεδιάζοντας ένα ηλιακό συλλέκτη, όπου ο ανακλαστήρας του ήταν σε μορφή κολουρου κώνου. Ο συλλέκτης αποτελείτο από επάργυρες μεταλλικές πλάκες διαμέτρου 5,4m και απορροφητή έκτασης 18,6m<sup>2</sup>. Τα κινούμενα μέρη ζύγιζαν 1400kg (Kalogirou, 2004).

Ο Abel Pifre σχεδίασε ένα εξελιγμένο ηλιακό συλλέκτη σε σύγκριση με τον συλλέκτη του Mouchot. Ο συγκεκριμένος ηλιακός συλλέκτης ονομαζόταν Pifre και αποτελείτο από πολύ μικρούς παραβολικούς ανακλαστήρες (Kalogirou, 2004).

Το 1901 ο A.G. Eneas εγκατέστησε ένα ηλιακό συλλέκτη εστίασης διαμέτρου 10m, ο οποίος τροφοδοτούσε μια συσκευή άντλησης νερού σε ένα αγρόκτημα στην Καλιφόρνια. Η συσκευή αποτελείτο από μια μεγάλη ανοικτή ομπρέλα που ήταν στραμμένη υπό γωνιά για να λαμβάνει τα πλήρη αποτελέσματα από τις ακτίνες του ήλιου. Στην εσωτερική επιφάνεια της ομπρέλας υπήρχαν 1788 κάτοπτρα, έτσι οι ακτίνες του ήλιου συγκεντρώνονταν σε ένα εστιακό σημείο όπου βρισκόταν ο λέβητας. Με τη θέρμανση του νερού στο εσωτερικό του λέβητα δημιουργείτο ατμός, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτούσε ένα κινητήρα (Kalogirou, 2004).

Το 1904 ο Πορτογάλος ιερέας Himalaya, κατασκεύασε ένα μεγάλο και μοντέρνο σε δομή ηλιακό φούρνο και ο συλλέκτης είχε μορφή παραβολικής κόρνας. Ο κλίβανος εκτίθεται στο St Louis World's (Kalogirou, 2004).

Το 1912 ο Shuman σε συνεργασία με την C.V. Boys, ανέλαβε να χτίσει το μεγαλύτερο εργοστάσιο στον κόσμο, άντλησης ενέργειας στο Meadi της Αιγύπτου. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία το 1913 και χρησιμοποιούσε μεγάλους παραβολικούς κυλίνδρους για την επικέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μακρύ σωλήνα απορρόφησης. Κάθε κύλινδρος είχε 62m μήκος και το συνολικό εμβαδόν ήταν 1200 m<sup>2</sup>. Η ηλιακή μηχανή παρήγαγε 37-45 kW για περίοδο 5 ωρών. Παρά την επιτυχία που είχε το εργοστάσιο, έκλεισε το 1915 λόγω της έναρξης του Ά Παγκοσμίου Πολέμου και των φθηνών τιμών στα καύσιμα (Kalogirou, 2004).

Ένας άλλος τομέας εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1930, ο οποίος ήταν η θέρμανση σπιτιού και το ζεστό νερό. Μέχρι τότε εκατομμύρια σπίτια χρησιμοποιούσαν λέβητες που έκαιγαν άνθρακα για την θέρμανση του νερού με το οποίο τροφοδοτούσαν τα σύστημα καλοριφέρ (Kalogirou, 2004).

Το 1940 ο Αμερικάνος Christenson της εταιρείας DePere εφεύρε ένα από τα πρώτα τεκμηριωμένα συστήματα ενσωμάτωσης θερμικών συλλεκτών στο κέλυφος κτηρίων (BISTS). Συγκεκριμένα, ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα και του νερού για οικιακή καθώς και βιομηχανική χρήση (Global Solar Thermal Energy Council, 2008).

Στα τέλη του 1950 ο Thomason, έκτισε ένα ηλιακό σπίτι στην Ουάσιγκτον στο οποίο είχε ενσωματώσει ένα σύστημα θέρμανσης νερού BISTS. Αυτό το σπίτι ήταν το σημάδι της προόδου η οποία άρχισε να γίνεται στην ανάπτυξη της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (Global Solar Thermal Energy Council, 2008).

Στις αρχές του 1960, ξεκίνησε η κατασκευή των ηλιακών θερμοσίφωνων (HΘN). Οι θερμοσίφωνες αποτελούνταν από δύο επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, που η απορροφητική τους πλάκα είχε εμβαδόν 3- 4m<sup>2</sup>, μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού με χωρητικότητα 150-180L και δεξαμενή κρύου νερού. Κατά την διάρκεια του χειμώνα λόγω χαμηλής ηλιοφάνειας η κατασκευή υποστηριζόταν από ένα βοηθητικό ηλεκτρικό στοιχείο (Kalogirou, 2004).

Τον Ιούλιο του 1974, ο Quick κατασκεύασε ένα ρυθμιζόμενο συλλέκτη ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση του αέρα. Ο συλλέκτης ήταν σχεδιασμένος έτσι που να ενώνεται με άλλους όμοιους συλλέκτες. Σκοπός του ήταν να παρέχει ένα εύκολα οικοδομήσιμο σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας, με την χρήση όσο το δυνατό ολόκληρης της διαθέσιμης επιφάνειας που είχε στη διάθεση του (Global Solar Thermal Energy Council, 2008).

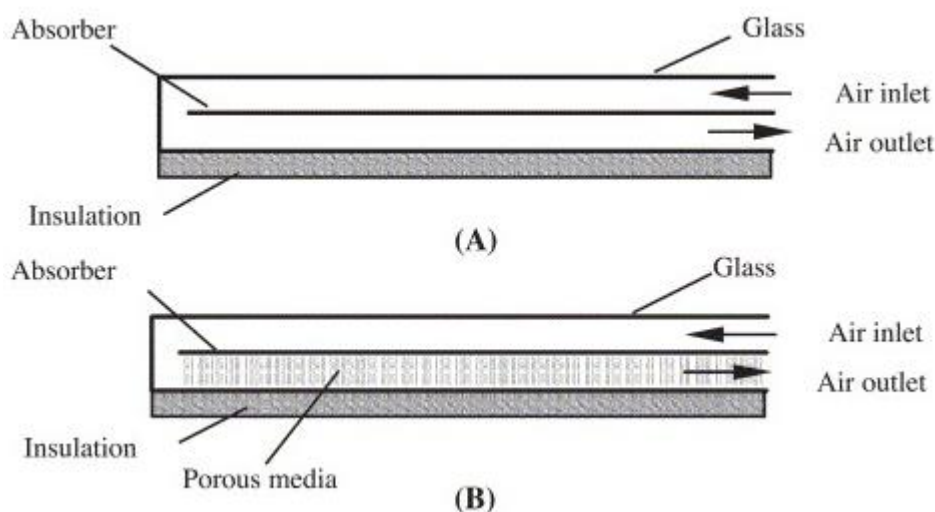
Το Φεβρουάριο του 1975, στην Ελβετία εφαρμόζεται ένα σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας το οποίο ενσωματώνεται σε μια κατοικία. Αυτή ήταν η πρώτη εφαρμογή όπου οι υαλοπίνακες ήταν στην μορφή κεραμιδιών για ένα θερμικό συλλέκτη. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα γινόταν με τη χρήση ενός απορροφητή. Πολλές παραλλαγές ακολούθησαν μετέπειτα σε σχέση με αυτό το σύστημα (Global Solar Thermal Energy Council, 2008).

### 1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ο Paisarn Naphon (2005) ασχολήθηκε με την μελέτη των χαρακτηριστικών και της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών αέρα διπλού περάσματος σε μορφή πλάκας με πόρους, καθώς και χωρίς πόρους (βλ. Σχήμα 1-1). Στόχος της παρούσας έρευνας ήταν να μελετηθούν η μεταφορά θερμότητας, οι επιδόσεις του διπλού περάσματος ηλιακού συλλέκτη αέρα και για τις δύο μορφές και η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων.

Κατά την διαδικασία των μετρήσεων έγιναν κάποιες παραδοχές. Υπήρχε σταθερή ροή αέρα, ο συντελεστής εξωτερικής και εσωτερικής συναγωγής μεταφοράς θερμότητας ήταν σταθερός καθώς επίσης και η θερμική αγωγιμότητα του πορώδους μέσου ήταν σταθερή σε όλο το μήκος του ηλιακού θερμικού συλλέκτη αέρα.

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι λόγω της υψηλότερης ζώνης μεταφοράς θερμότητας στο πορώδες έχουμε υψηλότερη θερμική απόδοση σε σχέση με την έλλειψη πορώδους. Επιπλέον ο ηλιακός συλλέκτης αέρα με πορώδες, στο πάνω μέρος του έχει υψηλότερη θερμοκρασία αέρα σε σχέση με το μη πορώδες. Αυτό ισχύει λόγω του ότι η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας στο πορώδες είναι μεγαλύτερη από εκείνη χωρίς το πορώδες. Γενικά όσο αυξάνετε η αγωγιμότητα του πορώδους τόσο υψηλότερη μεταφορά θερμότητας έχουμε και παράλληλα μεγαλύτερο ρυθμικό ροής μάζας αέρα. Ο ηλιακός συλλέκτης με πορώδες δίνει 25,9% υψηλότερη θερμική απόδοση από ότι χωρίς πορώδες (Paisarn Naphon, 2005).



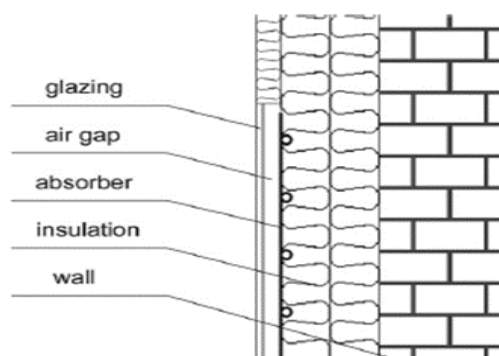
Σχήμα 1- 1: Συλλέκτης αέρα διπλού περάσματος σε μορφή πλάκας με πόρους (B), καθώς και χωρίς πόρους(A)

Πηγή: (Paisarn Naphon, 2005)

Οι Kalogirou et al. (2005) σε έρευνα την οποία παρουσίασαν αναφέρονται στην εφαρμογή ηλιακών συλλεκτών με διαφορετικούς χρωματισμούς οι οποίοι έχουν και καλή αισθητική με το σύνολο του κτηρίου. Κάθε συλλέκτης αξιολογήθηκε με βάση την απόδοση του, καθώς και την πρακτική εφαρμογή του σε κάθε περίπτωση. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν σε τρία διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, Λευκωσία (35°), Αθήνα (38°) και Wisconsin (43°). Οι συλλέκτες με μαύρο χρώμα θεωρείται ότι έχουν 0.95 συντελεστή απορρόφησης ενώ οι άλλοι σκουρόχρωμοι έχουν 0.85. Ακολούθως με την βοήθεια του προγράμματος TRNSYS έγινε προσομοίωση του κάθε συλλέκτη και πάρθηκαν αποτελέσματα σε σχέση με την απόδοση και τα χαρακτηριστικά του καθενός.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση συλλεκτών με άλλα χρώματα έχουν μικρότερη απόδοση σε σχέση με τον μαύρο συλλέκτη, αλλά η διαφορά είναι σε αποδεκτά επίπεδα. Ακόμη, οι συλλέκτες με άλλο χρώμα όπως φαίνεται και από υπολογισμούς που έγιναν έχουν ελπιδοφόρα μηνύματα όσο αφορά τα οικονομικά τους. Επίσης, τους κάνει πιο προσιτούς στην εφαρμογή τους σε κτήρια με μοντέρνα αλλά και παραδοσιακή αρχιτεκτονική (Kalogirou et al., 2005).

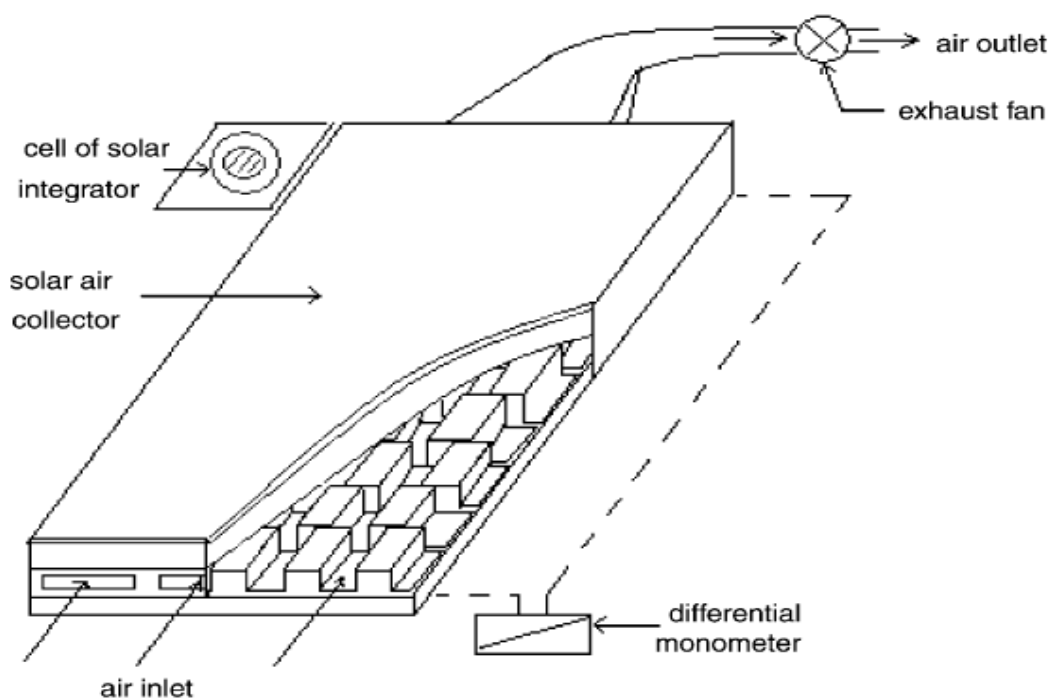
Οι Matuska et al. (2006) διερεύνησαν την απόδοση των συλλεκτών στην πρόσοψη του κτηρίου. Αναφέρουν ότι οι συλλέκτες οροφής συχνά απορρίπτονται από τους αρχιτέκτονες για λόγους αισθητικής, όμως οι συλλέκτες πρόσοψης μπορούν να γίνουν αποδεκτοί. Επέλεξαν ένα επίπεδο συλλέκτη για να εγκατασταθεί στον τοίχο πρόσοψης του κτιρίου. Ο συλλέκτης αυτός έχει λόγο απορροφητικότητας (δείκτη εκπομπής)  $\alpha/\epsilon=0.9/0.09$ , έχει ένα κενό αέρος και μονό τζάμι ασφαλείας (βλ. Σχήμα 1-2). Επίσης, υπάρχει μόνωση μεταξύ του τοίχου και του συλλέκτη. Οι συλλέκτες πρόσοψης χρησιμεύουν ως προστασία στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και βελτιώνουν τις θερμικές ιδιότητες της οικοδόμησης του κτιρίου σε σχέση με τα ηλιακά κέρδη. Μετά την έρευνα τους, παρατήρησαν ότι οι συλλέκτες πρόσοψης έχουν υψηλή απόδοση. Επιπλέον, παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία εσωτερικά αυξήθηκε κατά 1K σε όλες τις διαμορφώσεις (Matuska et al., 2006).



Σχήμα 1- 2: Διάταξη ηλιακού συλλέκτη πρόσοψης  
Πηγή: (Matuska et al., 2006)

Οι Youcef Ali et al. (2006) εισάγανε ορθογώνια πτερύγια μέσα στη διαδρομή ροής του αέρα ενός ηλιακού συλλέκτη. Ο κύριος σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να αυξηθεί η συνολική επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας, για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών θερμικής απόδοσης. Καλύτερη θερμική απόδοση επιτυγχάνεται με τα πτερύγια, ενώ η αυξημένη απώλεια πίεσης είναι πολύ μικρή. Ο αέρας που χρησιμοποιείται ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας στους ηλιακούς συλλέκτες με θερμική μετατροπή απαιτεί μια πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή. Αυτό αυξάνει τη θερμική μεταφορά θερμότητας μεταξύ απορροφητήρα και του ρευστού, η οποία βελτιώνει σαφώς τις θερμικές επιδόσεις του ηλιακού συλλέκτη με εμπόδια τοποθετημένα σε αγωγό αέρα.

Στην παρούσα μελέτη, έχουν εισαγάγει ορθογώνια πτερύγια, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εναλλάκτες θερμότητας όπως δείχνει το Σχήμα 1-3. Μια πειραματική έρευνα που διενεργήθηκε έδειξε την παραγόμενη ενίσχυση της θερμικής απόδοσης. Τα ορθογώνια πτερύγια, τοποθετούνται σε κλιμακωτή μορφή, είναι προσανατολισμένα παράλληλα προς τη ροή του ρευστού και είναι κολλημένα στην κάτω πλευρά του απορροφητή. Χαρακτηρίζονται από την περιοχή μεγάλης μεταδόσεως θερμότητας ανά μονάδα όγκου. Οι θερμικές αποδόσεις λαμβάνονται με χαμηλές απώλειες πίεσης και έτσι χρειάζεται χαμηλή ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος από τον ανεμιστήρα (Youcef Ali et al., 2006).

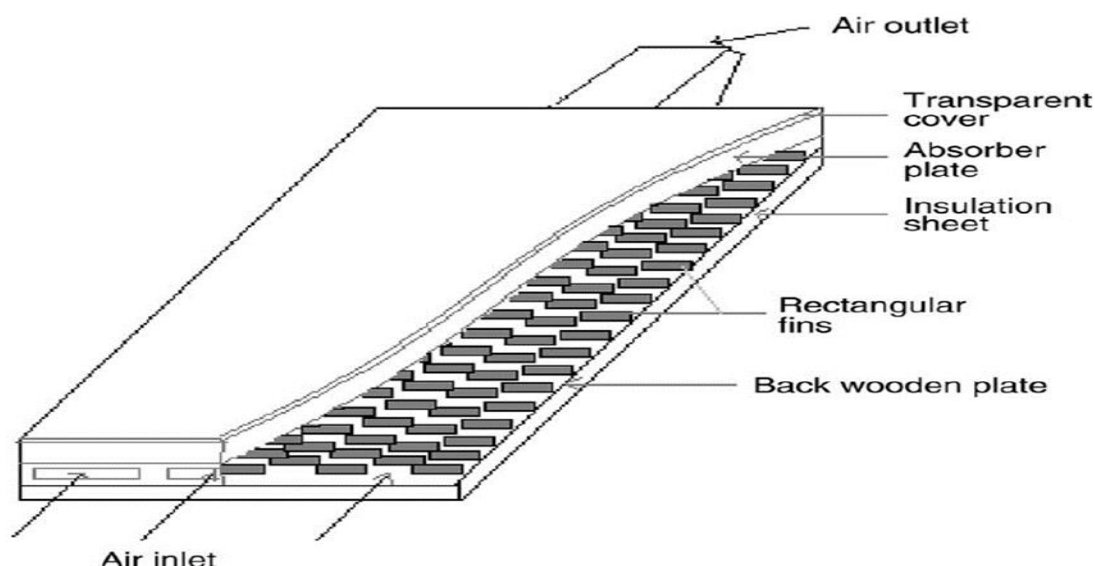


Σχήμα 1- 3: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια μέσα στη διαδρομή ροής του αέρα

Πηγή: (Youcef Ali et al, 2006)



Οι Moummi et al. (2004) μελέτησαν τους επίπεδους συλλέκτες αέρα με ορθογώνια πτερύγια τα οποία είναι τοποθετημένα κάθετα προς το επίπεδο παροχής. Η ανάγκη για τη βελτίωση των θερμικών επιδόσεων του ηλιακού συλλέκτη αέρα, για κάποιες ανάγκες, ενθάρρυνε τους ερευνητές να πραγματοποιήσουν αυτή τη μελέτη. Αρχικά, για να βελτιωθεί ο συντελεστής αποδοτικότητας αυτών των ηλιακών συλλεκτών, δημιουργήθηκε μια ολοένα τυρβώδης ροή μεταξύ του απορροφητή και της πίσω ξύλινης πλάκας. Για αυτό, χρησιμοποίησαν τα εμπόδια των διαφόρων μορφών όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο Σχήμα 1-4. Σε αυτή τη μελέτη, επέλεξαν ορθογώνια πτερύγια και τα εισήγαγαν κάθετα προς τη ροή του αέρα. Το ρευστό ρέει μέσα από τα διάκενα μεταξύ των πτερυγίων στην ίδια σειρά, αυτό επιτρέπει μία καλή κατανομή του ρευστού και μειώνει τις νεκρές ζώνες. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα που λαμβάνονται για ένα ηλιακό συλλέκτη χωρίς πτερύγια, χρησιμοποιώντας επιλεκτικό και μη-επιλεκτικό απορροφητή. Ο επιλεκτικός απορροφητής δεν παρέχει καμία αξιοσημείωτη βελτίωση σε σύγκριση με το συλλέκτη με πτερύγια (Moummi et al., 2004).

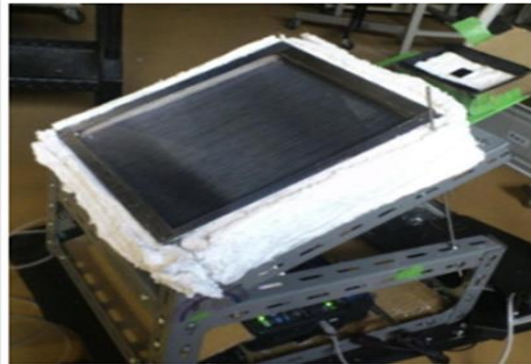


**Σχήμα 1- 4:** Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια κάθετα στη διαδρομή ροής του αέρα

**Πηγή:** (Moummi et al, 2004)

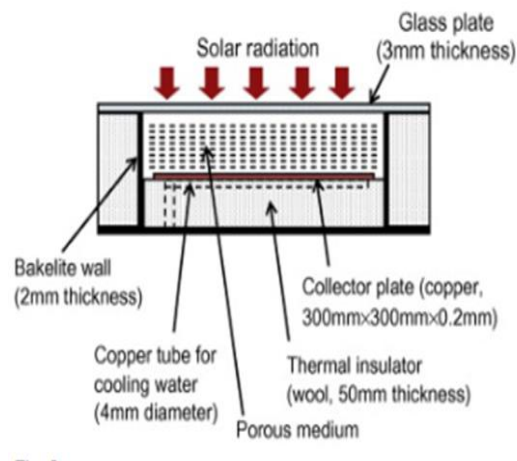
Ο Hirasawa (2013) μελέτησε τη μείωση της απώλειας θερμότητας με φυσική συναγωγή σε ένα ηλιακό συλλέκτη, τοποθετώντας ένα υψηλό πορώδες μέσο πάνω από την πλάκα του συλλέκτη. Είναι γνωστό ότι η φυσική συναγωγή μπορεί να μειωθεί σε ένα πορώδες μέσο. Για να χρησιμοποιηθεί ένα πορώδες μέσο σε ένα ηλιακό θερμικό συλλέκτη, είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση σκίασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλείται από το πορώδες μέσο. Σε αυτή την μελέτη, χρησιμοποιήθηκε μια σειρά από σύρματα κατασκευασμένα από λεπτό νάιλον ναρέματος με διάμετρο 0,05 mm, με βήμα 2 mm και πορώδες 0,999. Η πειραματική

συσκευή (βλ. Σχήμα 1-5) αποτελείται από μία χάλκινη πλάκα 300 mm × 300 mm και με ένα επιλεκτικό φίλμ απορρόφησης στην επιφάνεια του συλλέκτη όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-6. Στην συνέχεια, μετρήσε το ποσοστό μείωσης της απώλειας θερμότητας με συναγωγή από την πλάκα και του αποτελέσματος σκίασης για την πραγματική ηλιακή ακτινοβολία με την αλλαγή της κατάστασης του πορώδους μέσου. Η επίδραση της κεκλιμένης γωνίας σχετικά με τον αριθμό Nusselt αποδείχτηκε ότι ήταν μικρός. Το καθαρό ποσοστό μείωσης της απώλειας θερμότητας με φυσική συναγωγή ήταν 7% με την τοποθέτηση του υψηλού πορώδες μέσου πάνω από την πλάκα του συλλέκτη, όταν η θερμοκρασία της έφθανε τους 100 °C (Hirasawa, 2013).



Σχήμα 1- 5: Πειραματική διάταξη συλλέκτη

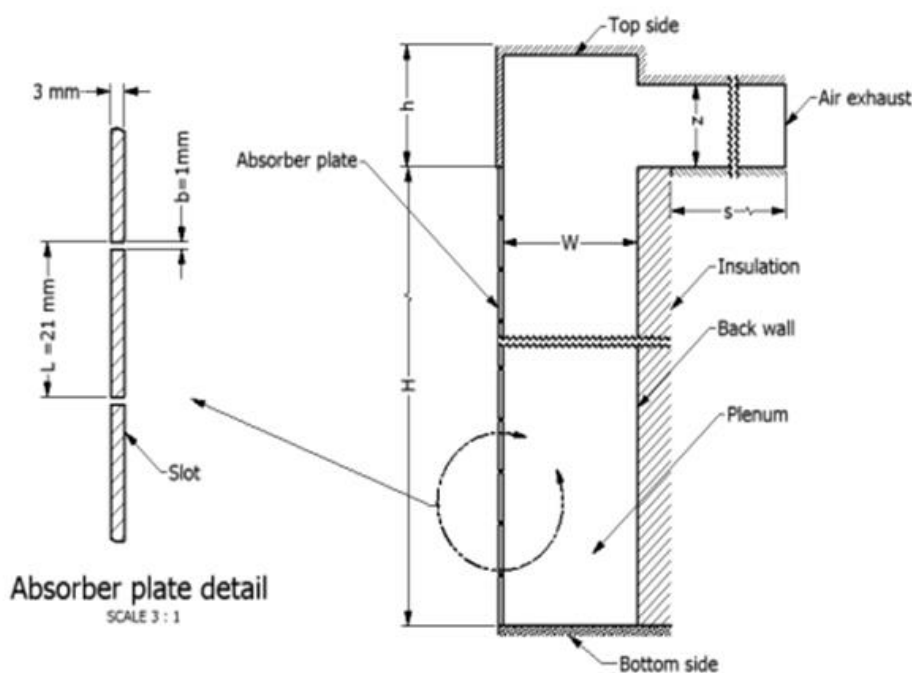
Πηγή: (Hirasawa, 2013)



Σχήμα 1- 6: Τομή με τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη

Πηγή: (Hirasawa, 2013)

Οι Badache et al. (2013) μελέτησαν την πειραματική και αριθμητική προσομοίωση σε 2 διαστάσεις ενός συλλέκτη αναπνοής αέρα (unglazed transpired air collector). Επιλέχθηκε πλάκα διάτρησης σε μορφή σχισμής για να καταστεί δυνατή η σύγκριση σε 2 διαστάσεις με αριθμητικές προσομοιώσεις. Κάθε πρωτότυπο περιλαμβάνει, ένα κατακόρυφο ξύλινο κουτί, μια απορροφητική πλάκα, ένα διάκενο αέρα με πάχος  $w$  το οποίο είναι μεταξύ του πίσω τοιχώματος και της απορροφητικής πλάκας. Ο αέρας εξέρχεται από το θάλαμο μέσω του τοιχώματος. Οι πλευρές και το πίσω μέρος του συλλέκτη είναι καλά μονωμένα, ενώ η μπροστινή όψη είναι εκτεθειμένη σε ακτινοβολία λαμπτήρων και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του αέρα και της ακτινοβολίας έγιναν για τρεις ρυθμούς ροής μάζας αέρα και τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός. Τα πειράματα διεξάχθηκαν σε ένα εργαστήριο το οποίο λειτουργούσε σε ελεγχόμενο περιβάλλον (Badache et al., 2013).



Σχήμα 1- 7: Γεωμετρία του συλλέκτη (δεξιά) και η κατακόρυφη τομή του(αριστερά)

Πηγή: (Badache et al, 2013)

Οι Rommel και Moock (1997) έκαναν μία μελέτη για το πώς μπορεί να βελτιωθεί ο συντελεστής απόδοσης του απορροφητή σε ένα ηλιακό συλλέκτη, αλλάζοντας το ύψος του. Οι απορροφητές σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες τις περισσότερες φορές αποτελούνται από σωλήνες με πτερύγια. Στην μελέτη αυτή, ο απορροφητής είναι ένας στενός αγωγός σε ορθογώνιο σχήμα. Το συμπέρασμα από αυτή τη μελέτη είναι ότι το ύψος του αγωγού που θα επιλεγεί πρέπει να είναι 3 - 6 χιλιοστών. Με το συγκεκριμένο ύψος αγωγού επιτυγχάνετε απόδοση μέχρι και 0,98 (Rommel και Moock, 1997).

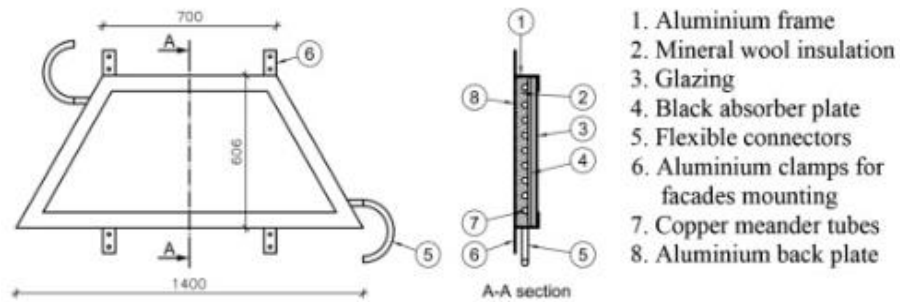
Ο Njomo (1998) μελέτησε ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη αέρα ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ένα εξωτερικό διαφανές πλαστικό κάλυμμα (Plexiglas), ο ρόλος του οποίου είναι να προστατεύει τον ηλιακό συλλέκτη από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να τον αλλοιώσουν. Εσωτερικά ο συλλέκτης, αποτελείται από ένα διάφανο γυάλινο κάλυμμα το οποίο παράγει το αναγκαίο φαινόμενο του θερμοκηπίου για την θέρμανση του απορροφητή. Ο Njomo έδειξε ότι η θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού και η ημερήσια παραγωγή θερμότητας του συλλέκτη, καθώς αυξάνεται η ροή του αέρα δεν αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου (Njomo, 1998).

Ο Ion Visa (2015) μελέτησε μια νέα αποδοτική επίπεδη πλάκα ηλιακού συλλέκτη αέρα που πληροί τις προϋποθέσεις της αρχιτεκτονικής αποδοχής με νέα σχήματα και νέα χρώματα. Ο συγκεκριμένος ηλιακός συλλέκτης έχει σχήμα ισοσκελές τραπέζιο και διαθέτει πλαίσιο αλουμινίου, σωλήνες από χαλκό, μόνωση από υαλοβάμβακα και απορροφητήρα (βλ. Σχήμα 1-8).

Αρχικά έγιναν δύο παράλληλες σειρές δοκιμών για τον απορροφητή, χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό υπόστρωμα και αντίστοιχα ένα υπόστρωμα με τις ίδιες διαστάσεις, με συναρμολόγηση 14 τεμαχίων (4 ορθογώνια τρίγωνα και 10 ορθογώνια) συνδεδεμένα με ταινίες από χαλκό. Τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν ταυτόσημα, επομένως στα περαιτέρω πειράματα που έγιναν χρησιμοποιήθηκαν πλάκες απορρόφησης που αποτελούνταν από τα ίδια 14 τεμάχια που καλύπτονταν με μαύρη επίστρωση.

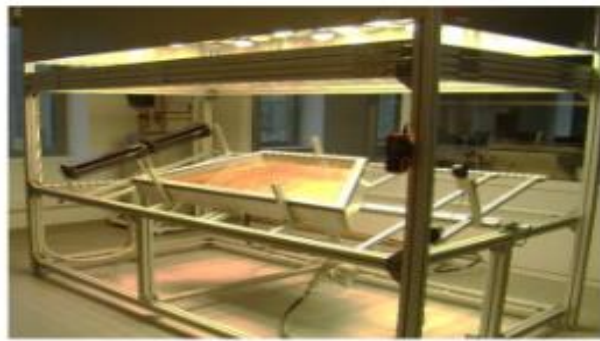
Στη συνέχεια, ελέχθησαν οκτώ παραλλαγές συλλεκτών σε ένα εσωτερικό ηλιακό προσομοιωτή εντάσεις ακτινοβολίας  $880 \text{ W/m}^2$  -  $930 \text{ W/m}^2$  (βλ. Σχήμα 1-9), που σκοπό είχαν την βελτιστοποίηση της απόδοσης. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων ένα εύρημα ήταν η υπερβολική θέρμανση του περιβλήματος, όχι μόνο λόγω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αλλά επίσης λόγω του ότι προστέθηκε μια περαιτέρω μόνωση στο πλαίσιο αλουμινίου από πολυουρεθάνη, η οποία μείωσε κατά 10% το συντελεστή απωλειών θερμότητας. Επίσης, η αλλαγή διαμέτρων των σωλήνων από 10mm σε 22mm επέφερε την αύξηση της αποτελεσματικότητας σε 3%.

Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βελτιωμένη έκδοση μέσα από τις οκτώ παραλλαγές κατέληξε σε απόδοση 60,7%. Εξωτερική δοκιμή του βέλτιστου συλλέκτης έχει γίνει για μια ηλιόλουστη ημέρα που περιλαμβάνει 2 ώρες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία στην ίδια περιοχή (Ion Visa, 2015).



Σχήμα 1- 8: Τομή με τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη

Πηγή: (Ion Visa, 2015)



Σχήμα 1- 9: Πειραματική διάταξη συλλέκτη σε εσωτερικό ηλιακό προσομοιωτή

Πηγή: (Ion Visa, 2015)

Ο Alejandro Hernandez (2014) έκανε μία πειραματική μελέτη για τη θερμική απόδοση ενός μετρητή ροής διπλού-pass σε ένα ηλιακό συλλέκτη αέρα και ένα θεωρητικό μοντέλο, το οποίο σκοπός του είναι να περιγράψει τη θερμική συμπεριφορά του. Το πρότυπο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σε INENCO, Universidad Nacional de Salta, στην Αργεντινή.

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι τοποθετημένος σε κλίση  $40^\circ$  προς το βορρά, προκειμένου να μεγιστοποιείται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η ωφέλιμη επιφάνεια συλλογής του συλλέκτη είναι  $2 \text{ m}^2$ . Το κανάλι έχει σχήμα ορθογώνιου ( $0,025 \text{ m}$  και  $0,78 \text{ m}$  πλάτος). Το κάλυμμα του συλλέκτη είναι ένα διαφανές πολυανθρακικό φύλλο  $4$  χιλιοστών, ενώ η απορροφητική πλάκα αποτελείται από ένα μεταλλικό φύλλο το οποίο είναι βαμμένο με μαύρη μπογιά για να φθάνει σε υψηλές θερμοκρασίες. Ο αέρας εισέρχεται από το εξωτερικό και ζεσταίνεται καθώς κινείται κατά μήκος του καναλιού. Ο αέρας κυκλοφορεί μεταξύ του διαφανούς καλύμματος και της απορροφητικής πλάκας (άνω κανάλι) και στη συνέχεια γυρίζει πίσω, όπου ρέει μεταξύ της απορροφητικής πλάκας και της βάσης του συλλέκτη (κάτω κανάλι). Η ροή του αέρα δημιουργείται από ένα ανεμιστήρα ( $220\text{V}$  και  $2750$  στροφές/λεπτό), ο οποίος είναι εγκαταστημένος σε ένα σωλήνα διαμέτρου  $0.18 \text{ m}$ , που είναι συνδεδεμένος στην έξοδο της ροής. Η άκρη και η κάτω επιφάνειες του συλλέκτη είναι μονωμένες με χοντρό γυαλί πάχους  $0,05 \text{ m}$ . Το κάλυμμα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αφαιρείτε εύκολα για καθαρισμό.

Πειραματικές υπαίθριες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, με τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, να φθάνει περίπου  $1050 \text{ W/m}^2$ . Πειραματικά αποτελέσματα του ηλιακού συλλέκτη που κατασκευάστηκε και προβλέψεις του θεωρητικού μοντέλου βρέθηκαν να είναι σε καλή συμφωνία μεταξύ τους (Alejandro Hernandez, 2014).

Ο Yang (2012) έκανε μία μελέτη σχετικά με τις πέντε κρίσιμες παραμέτρους που μπορούν να έχουν επίδραση στη θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη αέρα. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

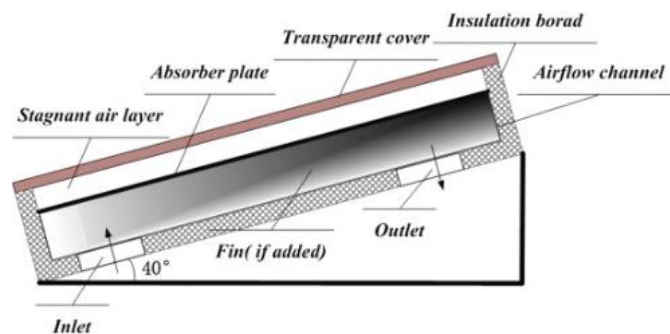
- (1) αντοχή μεταφορά θερμότητας στο κανάλι ροής του αέρα,
- (2) το ύψος στρώματος αέρα,
- (3) τις οπτικές ιδιότητες του διαφανούς καλύμματος,
- (4) το είδος του απορροφητήρα και
- (5) την θερμική αντίσταση της πίσω πλάκας.

Για να δείξει τις πραγματικές επιδράσεις αυτών των πέντε παραμέτρων, δημιούργησε έξι διαφορετικούς συλλέκτες αέρα, που ονομάζονταν A-F αντίστοιχα. Στον κάθε συλλέκτη έγινε αλλαγή μιας κρίσιμης παραμέτρου όπου εξετάστηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες εργασίας. Ο συλλέκτης A (βλ. Σχήμα 1-10) χρησίμευσε ως βάση, με τις παραμέτρους ως εξής:

- (1) Η επιφάνεια συλλογής ηλιακής ενέργειας ήταν 2m (μήκος) × 1m (πλάτος).
- (2) Η γωνία τοποθέτησης του συλλέκτη ήταν 40°.
- (3) Το διαφανές κάλυμμα ήταν κατασκευασμένο από ένα κανονικό πάνελ πολυανθρακικό, με πάχος 5 χιλιοστά.
- (4) Το ύψος του στρώματος αέρα ήταν 0,01 m, ενώ εκείνο του καναλιού ροής αέρα ήταν 0,1m.
- (5) Η απορροφητική πλάκα ήταν φτιαγμένη από σίδηρο, πάχους 1 mm και βαμμένη μαύρη.
- (6) Θερμική μόνωση EPS (διογκωμένη πολυστερίνη), με θερμική αγωγιμότητα 0,046 W/m K, τέθηκε στις εξωτερικές επιφάνειες των πλακών και στην πίσω πλευρά, με πάχος 50 χιλιοστά.

Προκειμένου να μειωθεί η θερμική αντίσταση, τοποθέτησε περύγια στο κανάλι ροής του αέρα για να αυξηθεί ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας. Τα περύγια έγιναν από σίδηρο και βρίσκονται παράλληλα με το κανάλι ροής του αέρα, του οποίου το ύψος και το μήκος ήταν τα ίδια με εκείνα του καναλιού ροής αέρα, το πάχος ήταν περίπου 0.4 χιλιοστά. Τα περύγια προστέθηκαν στην απορροφητική πλάκα με καρφιά. Ο αέρας εισέρχεται με την βοήθεια του ανεμιστήρα και ρέει κατά μήκος των περυσίων, έτσι ώστε να βοηθήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας της ροής του αέρα. Παρατηρήθηκε ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο κανάλι ροής αέρα θα μπορούσε να φθάσει περισσότερο από 4 W/m<sup>2</sup>K, έτσι ώστε η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας επιλέχθηκε ως 8 m<sup>2</sup> για να κάνει την θερμική αντίσταση στο κανάλι ροής αέρα μικρότερη από 0,04 K/W, η οποία ήταν αρκετά χαμηλή.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μείωση της αντίστασης μεταφοράς θερμότητας στο κανάλι ροής αέρα έπαιξε τον πιο σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της θερμικής απόδοσης. Η ρύθμιση του ύψους του στρώματος αέρα και η βελτίωση των οπτικών ιδιοτήτων του διαφανές καλύμματος έπαιξαν δευτερεύοντα ρόλο. Η αύξηση της θερμικής αντίστασης της πίσω πλάκας και η μείωση της ικανότητας εκπομπής της απορροφητικής πλάκας είχε το λιγότερο αντίκτυπο (Yang, 2012).



Σχήμα 1- 10: Συλλέκτης Α

Πηγή: (Yang, 2012)

## 1.4 Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολύ καλή απόδοση για την θέρμανση χώρων. Η αρχή λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών στηρίζεται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τις σκουρόχρωμες επιφάνειες. Το φαινόμενο της απορρόφησης είναι αρκετά περίπλοκο αλλά το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια όλων των μηκών κύματος υποβαθμίζεται σε θερμότητα.

Ένα μέρος από τη θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή μέσα στον αποροφητήρα, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται πάλι στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Αυτή η εκπομπή θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του περιβάλλοντος. Έτσι καθώς η επιφάνεια θερμαίνεται οι απώλειες αυξάνονται. Αν η επιφάνεια του αποροφητήρα όμως καλυφθεί από ένα τζάμι οι θερμικές απώλειες μειώνονται σημαντικά χωρίς να μειώνεται πολύ η προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Υπάρχουν δύο είδη θερμικών ηλιακών συλλεκτών, οι συγκεντρωτικοί και οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες. Αυτοί που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρου και ζεστού νερού είναι οι επίπεδοι και οι συλλέκτες με σωλήνες κενού. Η παρούσα μελέτη θα ασχοληθεί με τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη. Στον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από ένα κάλυμμα που συνήθως είναι γυαλί και στη συνέχεια προσκρούει σε μαύρη επιφάνεια. Με αυτό τον τρόπο το ρευστό ζεσταίνεται και κατευθύνεται για χρήση ή για αποθήκευση. Παράλληλα το όλο σύστημα είναι μονωμένο για την μείωση των απωλειών (Kalogirou, 2004).

### 1.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλιακών συλλεκτών αέρα

#### Πλεονεκτήματα:

Δεν βασίζονται σε πολύπλοκους μηχανισμούς και δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση και γνώσεις για τον χειρισμό τους.

Χρειάζονται σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις κόστους λειτουργίας, εξαιρουμένου του αρχικού κόστους εγκατάστασης τους. Το κόστος λειτουργίας σε σχέση με την εξοικονόμηση που μπορεί να αποφέρουν μέσα από τον κύκλο ζωής τους είναι αμελητέο.

#### Μειονεκτήματα:

Τα κυριότερα προβλήματα που συναντώνται κατά την ανάλυση των ηλιακών συλλεκτών σχετίζονται με τις χαμηλές και συνεχώς μεταβαλλόμενες τιμές της προσπίπτουσας ενέργειας και την σχετικά μεγάλη σημασία της μετάδοσης θερμότητας δι' ακτινοβολίας.



Ένα μειονέκτημα του συλλέκτη αέρα σε σχέση με τους συλλέκτες νερού είναι ότι προκαλείται κάποιο είδος θορύβου όταν ο αέρας εισέρχεται μέσα στον συλλέκτη.

Ένα άλλο αρνητικό των συλλεκτών αέρα είναι ότι χρειάζονται ένα ανεμιστήρα για να ωθούν τον αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη με αποτέλεσμα να καταναλώνεται ηλεκτρισμός, με συνέπεια περεταίρω κόστος.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των συλλεκτών αέρα σε σχέση με τους συλλέκτες νερού, είναι ότι έχουν χαμηλό συντελεστή ειδικής θερμότητας μεταξύ του αέρα και της απορροφητικής πλάκας με αποτέλεσμα να παρατηρείτε μείωση της μεταφοράς θερμότητας. Η θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι πολύ μικρότερη από το νερό, κατά συνέπεια, μεγαλύτερες ταχύτητες ροής όγκου του αέρα απαιτούνται, με αποτέλεσμα υψηλότερη ισχύ άντλησης.

#### 1.4.2 Τα Κύρια μέρη που αποτελούν ένα ηλιακό συλλέκτη

Τα κύρια μέρη που αποτελούν ένα ηλιακό συλλέκτη είναι όπως φαίνονται στο Σχήμα 1-11 :

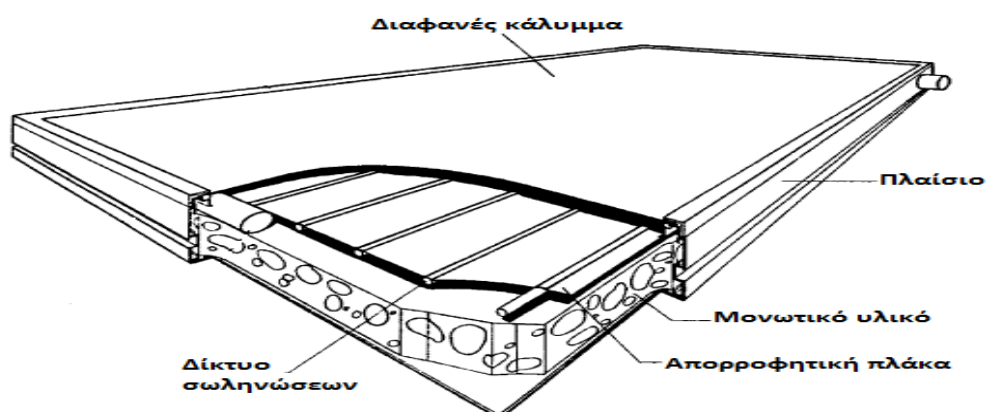
Το πλαίσιο που συγκρατεί την όλη κατασκευή και την προστατεύει από τις καιρικές συνθήκες.

Το κάλυμμα που στις πλύστες των περιπτώσεων είναι από γυαλί και διάφανες επιφάνειες πλαστικού με καλή διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η μαύρη απορροφητική πλάκα που έχει ψηλό δείκτη απορροφητικότητας για να μπορεί να μαζεύει μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας.

Το δίκτυο σωληνώσεων ή αγωγών που βρίσκεται σε επαφή με την απορροφητική πλάκα για να μπορεί να μεταφέρεται η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία σε αυτό.

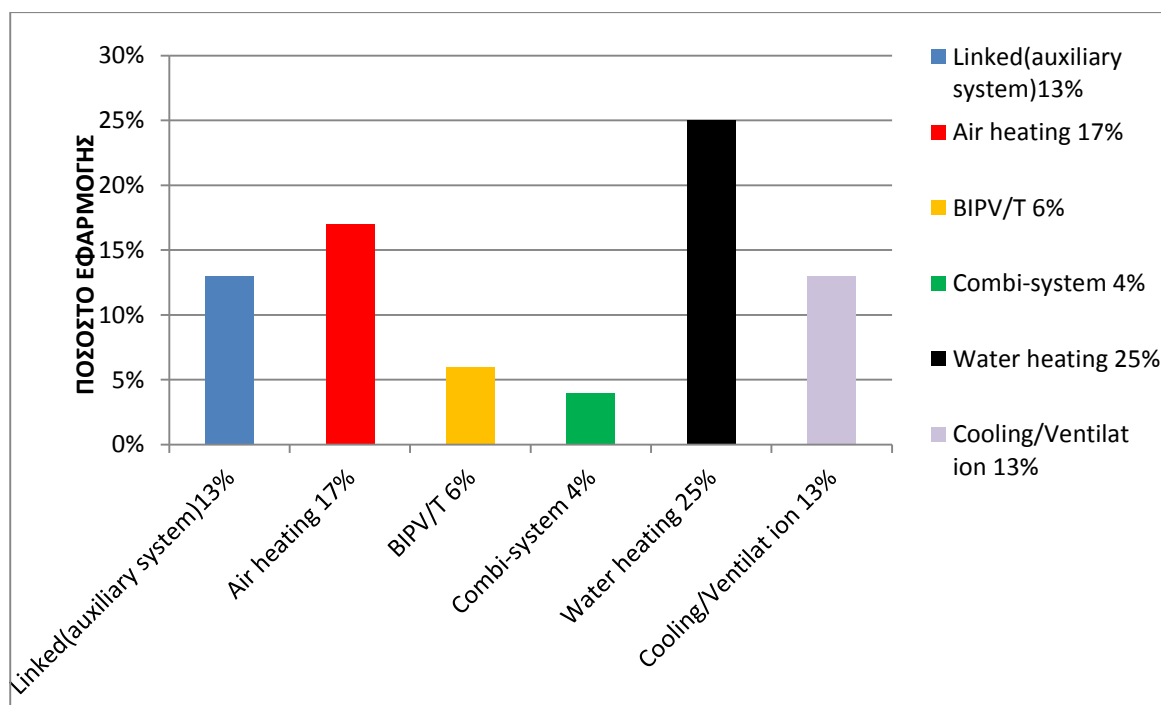
Μονωτικό υλικό στο πίσω μέρος του συλλέκτη για να εμποδίζεται η απώλεια θερμότητας.



Σχήμα 1- 11: Κύρια μέρη ηλιακού συλλέκτη

Στο πιο κάτω διάγραμμα απεικονίζονται διάφορα συστήματα σε σχέση με το ποσοστό εφαρμογής τους (Smyth, Aelenei n.d.). Παρατηρούμε ότι οι συλλέκτες αέρα έχουν ποσοστό 17% το οποίο είναι μικρό σε σχέση με τα ποσοστά εφαρμογής των υπόλοιπων συστημάτων. Αποτέλεσμα αυτού, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση από τον ανθρώπινο παράγοντα είναι σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό μας παροτρύνει να ασχοληθούμε και να μελετήσουμε περαιτέρω την εφαρμογή των ηλιακών συλλεκτών αέρα.

Στην Κύπρο δεν υπάρχουν εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών αέρα μέχρι σήμερα. Λόγω του ότι υπάρχουν πολλά ωφέλει, ένα εκ των οποίων είναι η μεγάλη ηλιοφάνεια κατά την χειμερινή περίοδο, η εφαρμογή τέτοιου είδους συλλέκτη είναι ιδανική για τα δεδομένα της Κύπρου.



Σχήμα 1- 12: Γραφική παράσταση ποσοστού εφαρμογής – διάφορα συστήματα

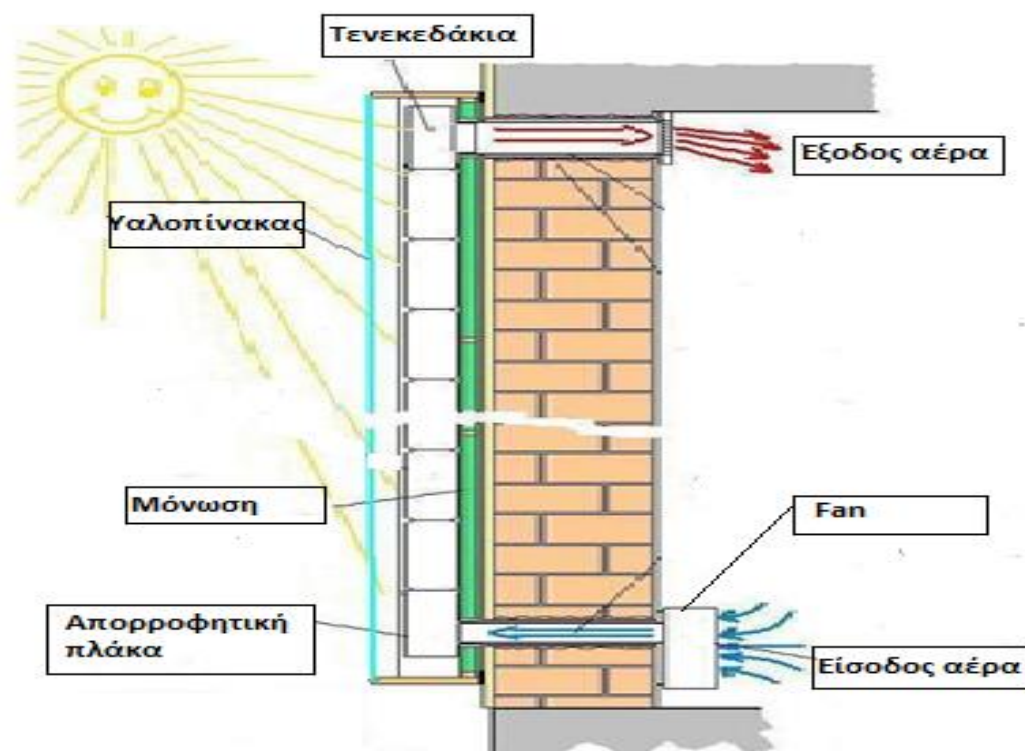
Πηγή: (Smyth, Aelenei n.d.)

## 2. ΙΔΕΕΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

### 2.1 Καταιγισμός ιδεών

Στο κεφάλαιο αυτό διερευνούνται διάφορες ιδέες για την ενσωμάτωση ηλιακού συλλέκτη αέρα στην πρόσοψη κτηρίου. Ακολούθως, έγινε επιλογή της καλύτερης ιδέας με βάση τις πιο σημαντικές παραμέτρους, για τις προδιαγραφές που απαιτούνται στην Κύπρο.

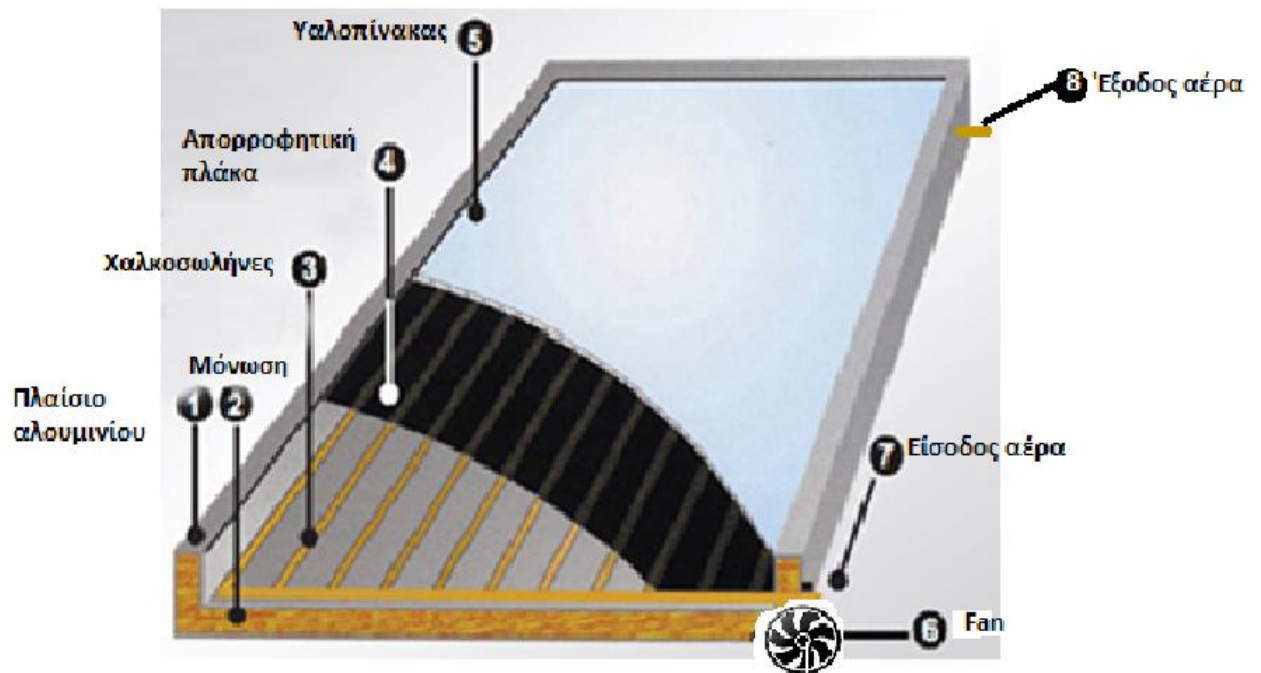
#### 2.1.1 Πρώτη Ιδέα: Συλλέκτης αέρα κατασκευασμένος από αλουμινένια τενεκεδάκια



Σχήμα 2- 1: Συλλέκτης αέρα από αλουμινένια τενεκεδάκια

Ο συλλέκτης αυτός (βλ. Σχήμα 2-1) αποτελείται από ένα ξύλινο πλαίσιο, μόνωση από πετροβάμβακα, μια πλάκα λαμαρίνας μαύρου χρώματος που χρησιμοποιείται ως απορροφητική πλάκα και ένα υαλοπίνακα όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι ο συλλέκτης αέρα είναι κατασκευασμένος από αλουμινένια τενεκεδάκια, τα οποία είναι τρυπημένα στην κάτω επιφάνεια τους και ενωμένα μεταξύ τους με ειδική κόλλα. Έτσι, με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα απορροφάτε ο κρύος αέρας και με το πέρασμα του μέσα από τα τενεκεδάκια όπου είναι βαμμένα μαύρα, ζεσταίνετε και μεταφέρεται στο χώρο. Αυτό το σύστημα είναι σχετικά φτηνό.

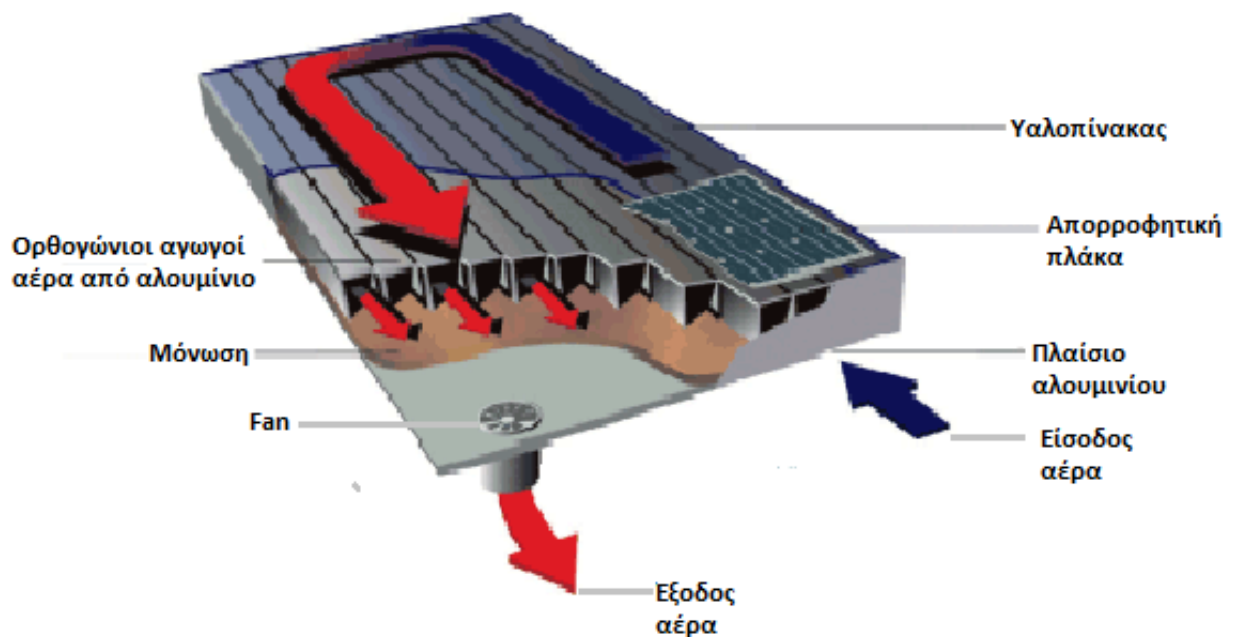
### 2.1.2 Δεύτερη Ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης αέρα από σωλήνες χαλκού



Σχήμα 2- 2: Ηλιακός συλλέκτης αέρα από σωλήνες χαλκού

Ο συγκεκριμένος συλλέκτης αέρα (βλ. Σχήμα 2-2) αποτελείται από ένα πλαίσιο αλουμινίου, μόνωση από υαλοβάμβακα, μια απορροφητική πλάκα βαμμένη μαύρη, ένα υαλοπίνακα και πολλές σωλήνες από χαλκό. Με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα απορροφάτε ο κρύος αέρας από το κάτω μέρος του συλλέκτη και με το πέρασμα του μέσα από τις σωλήνες όπου ενώνονται μεταξύ τους με χάλκινες γωνιές, ζεσταίνετε και μεταφέρεται στο χώρο. Αυτή η ιδέα έχει σχετικά μεγάλο κόστος για τον λόγο ότι ο συλλέκτης αποτελείται από σωλήνες χαλκού.

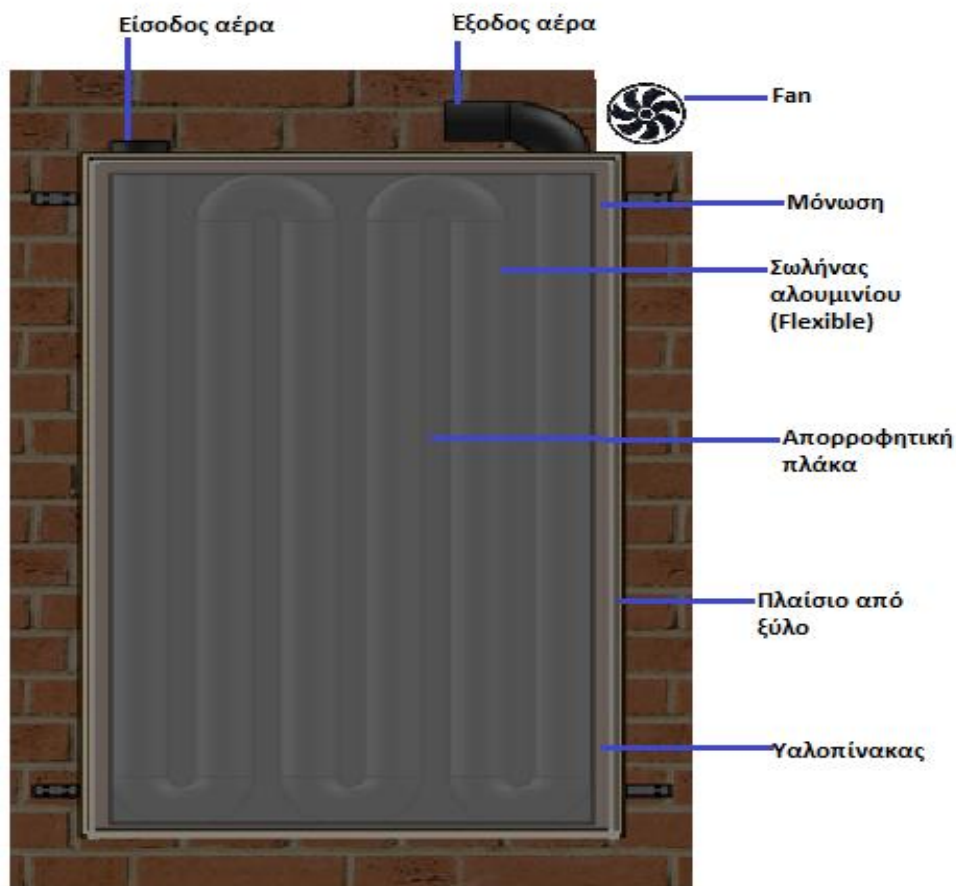
### 2.1.3 Τρίτη Ιδέα: Συλλεκτής αέρα με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα)



Σχήμα 2- 3: Συλλεκτής αέρα με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα)

Εδώ έχουμε ένα συλλέκτη (βλ. Σχήμα 2-3) ο οποίος αποτελείται από πλαίσιο αλουμινίου, μόνωση από πετροβάμβακα, τετράγωνους αγωγούς μετάλλου οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους με μικρές ενώσεις. Οι τετράγωνοι αγωγοί είναι τοποθετημένοι πάνω σε μια απορροφητική μαύρη πλάκα, πάνω από την οποία υπάρχει ο υαλοπίνακας. Το πλεονέκτημα αυτού του συλλέκτη είναι ότι ο χρόνος κυκλοφορίας του αέρα αυξάνεται λόγω της συγκεκριμένης διάταξης των τετράγωνων αγωγών. Επίσης, λόγω αυτής της διάταξης, η θερμότητα δεν χάνεται αλλά μεταφέρεται στους διπλανούς αγωγούς. Ο κρύος αέρας εισέρχεται στους αγωγούς και με την βοήθεια του ανεμιστήρα, ζεσταίνεται και κατευθύνεται στο χώρο. Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι εύκολη στο σχεδιασμό της καθώς και στην χρήση της και αυτό την καθιστά σαν μια αξιόπιστη ιδέα.

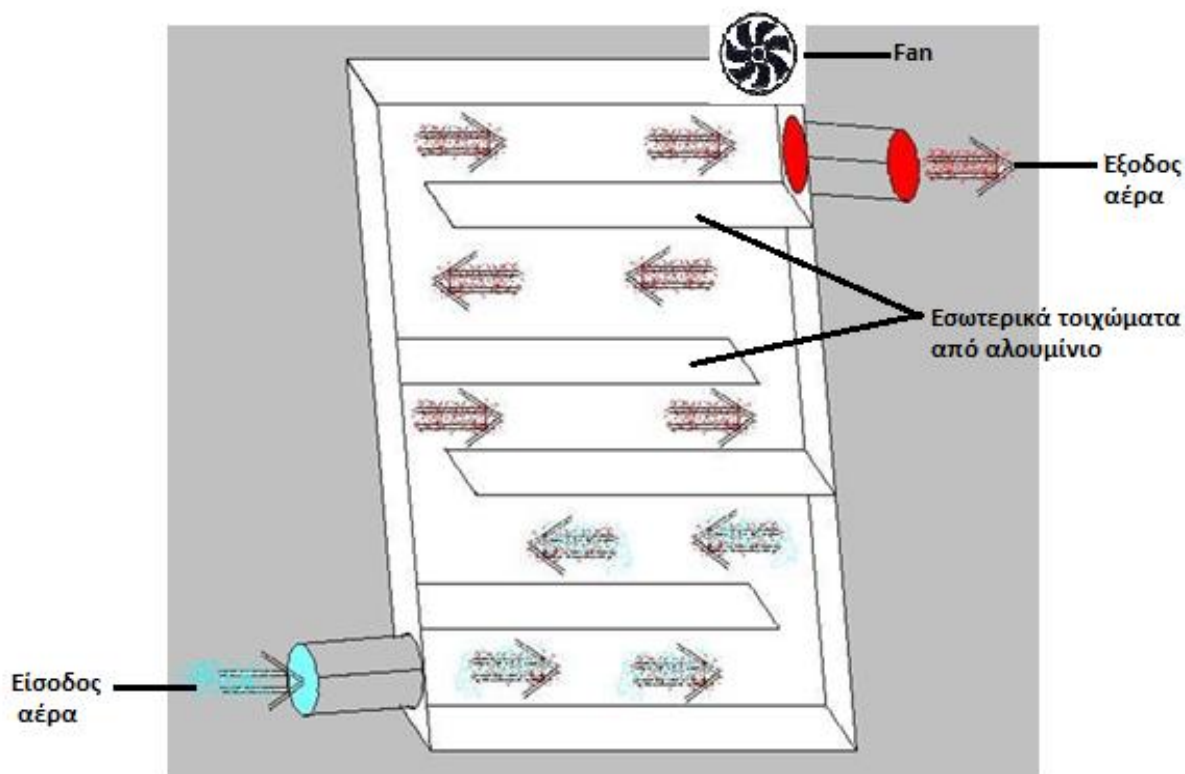
#### 2.1.4 Τέταρτη ιδέα: Συλλέκτης αέρα με ενσωματωμένο εύκαμπτο σωλήνα αλουμινίου



Σχήμα 2- 4: Συλλέκτης αέρα με ενσωματωμένο εύκαμπτο σωλήνα αλουμινίου

Το σύστημα αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 2-4 αποτελείται από ένα ξύλινο πλαίσιο, μόνωση από κομμάτια χάρτινων κουτιών τα οποία έχουν διάκενο αέρα στο εσωτερικό τους, ένα αλουμινένιο μαύρο απορροφητή, ένα υαλοπίνακα και ένα εύκαμπτο σωλήνα αλουμινίου (Flexible) βαμμένος και αυτός μαύρος. Από την πάνω αριστερή επιφάνεια εισέρχεται ο κρύος αέρας ο οποίος κυκλοφορεί στο σωλήνα και με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα γίνεται η αναρρόφηση και η εξαγωγή του θερμού αέρα στο χώρο.

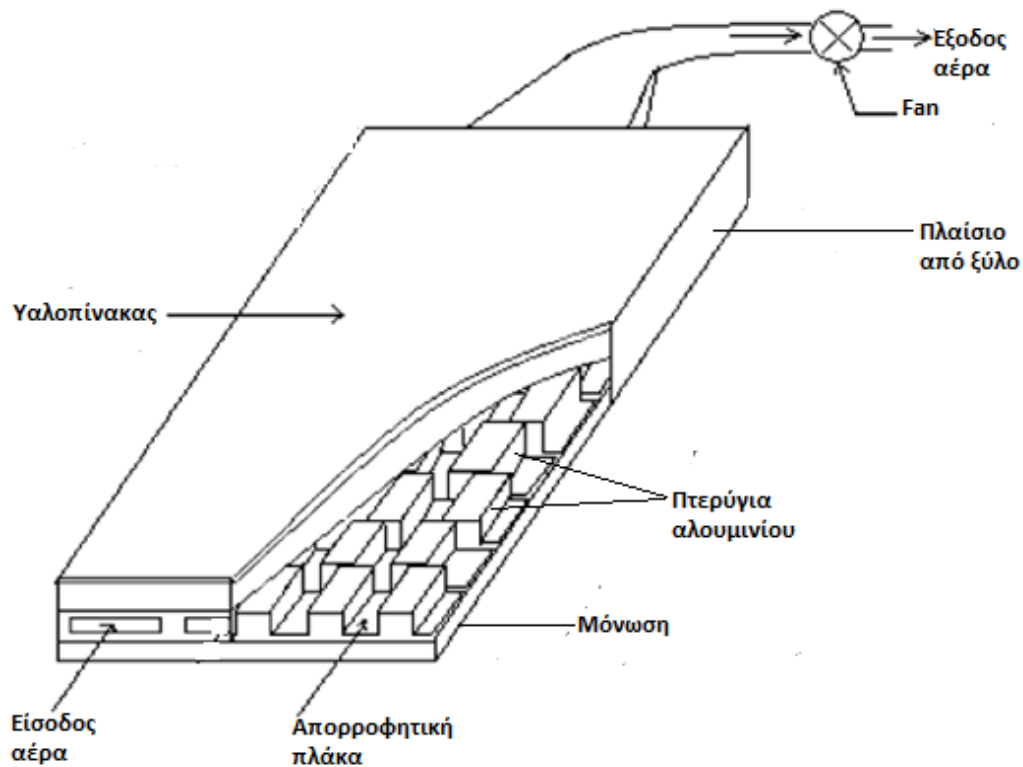
### 2.1.5 Πέμπτη ιδέα: Συλλέκτης αέρα με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)



Σχήμα 2- 5: Συλλέκτης αέρα με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

Ο συλλέκτης αυτός (βλ. Σχήμα 2-5) είναι κατασκευασμένος από πλαίσιο ξύλου, μόνωση πετροβάμβακα, μια ειδική απορροφητική πλάκα και ένα γυάλινο κάλυμμα. Αυτή η ιδέα είναι παρόμοια με την τρίτη ιδέα με τη διαφορά ότι στην τρίτη ιδέα χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνοι αγωγοί, ενώ σ' αυτή χρησιμοποιήθηκαν εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου τύπου Π, τα οποία είναι ενσωματωμένα πάνω σε μια μεταλλική πλάκα. Ο κύριος σκοπός των τοιχωμάτων είναι η αύξηση του χρόνου κυκλοφορίας του αέρα μέσα στον συλλέκτη. Ο κρύος αέρας εισέρχεται από την κάτω επιφάνεια και διαμέσου των τοιχωμάτων ζεσταίνεται και εξέρχεται με την βοήθεια του ανεμιστήρα στο χώρο. Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι εύκολη στο σχεδιασμό της και έχει χαμηλό κόστος με αποτέλεσμα να την καθιστά σαν μια αξιόπιστη ιδέα.

### 2.1.6 Έκτη ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια στην κατεύθυνση ροής του αέρα

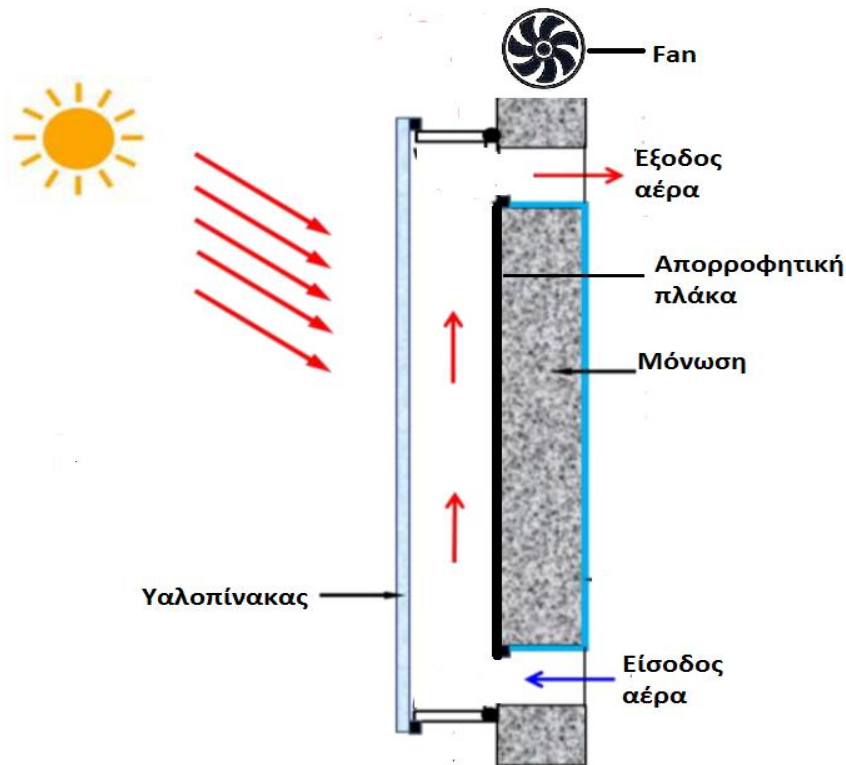


Σχήμα 2- 6: Ηλιακός συλλέκτης με ορθογώνια πτερύγια στην κατεύθυνση ροής του αέρα

Ο συλλέκτης αυτός (βλ. Σχήμα 2-6) έχει σαν βασική ιδέα τα πτερύγια. Αποτελείτε από ένα ξύλινο πλαίσιο, μόνωση από πολυστερίνη, μια μαύρη απορροφητική πλάκα και ένα υαλοπίνακα. Τα πτερύγια τοποθετούνται πάνω στην απορροφητική πλάκα και είναι προσανατολισμένα στην ροή του αέρα. Η μορφή αυτή αυξάνει το εμβαδό της επιφάνειας στην οποία θα προσπίπτει η ηλιακή ενέργεια και έτσι θα έχουμε επαφή του εισερχόμενου αέρα με μεγαλύτερη επιφάνεια, άρα θα περιμένουμε μια αυξημένη διαφορά στη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου. Από την άλλη τα πολλά πτερύγια αυξάνουν το βάρος της όλης κατασκευής, το οποίο μπορεί να αποβεί σε πρόβλημα αποκόλλησης λόγω βάρους. Επίσης, παρατηρείται αύξηση της δυσκολίας και στο σχεδιασμό. Για τους πιο πάνω λόγους η αξιοπιστία της ιδέας αυτής μειώνεται αισθητά.



### 2.1.7 Έβδομη ιδέα: Ηλιακός συλλέκτης αέρα σε μορφή αγωγού



Σχήμα 2- 7: Ηλιακός συλλέκτης αέρα σε μορφή αγωγού

Το σύστημα αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 2-7 αποτελείται από ένα πλαίσιο αλουμινίου, μόνωση από πετροβάμβακα, μια μαύρη απορροφητική πλάκα και ένα υαλοπίνακα. Η ιδέα σε αυτό τον συλλέκτη είναι να απορροφά αέρα από το περιβάλλον και με την διέλευση του μέσα από τον αγωγό να θερμαίνεται και με τη βοήθεια του ανεμιστήρα να καταλήγει στο χώρο ο οποίος χρειάζεται να ζεσταθεί. Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι εύκολη στο σχεδιασμό της καθώς και στην χρήση της. Έχει ένα λογικό βάρος το οποίο δεν μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα και αυτό την καθιστά σαν μια αξιόπιστη ιδέα.

## 2.2 Διαδικασία λήψης τελικής απόφασης

Σε αυτή την φάση, μετά από την καταγραφή ιδεών που έγινε με την μέθοδο του καταγισμού ιδεών, επιδιώκουμε να μειώσουμε τον αριθμό των πιθανών «καλών» λύσεων, ώστε να μείνουν τόσο λίγες που να μπορούν να δουλευτούν μέχρι τελικού σχεδιασμού. Αυτό μπορεί να γίνει με ενδιάμεσα βήματα όπου αποκλείονται κάποιες προτάσεις για λύση και στο τέλος παραμένουν λίγες (μία - δύο) αξιολογες ιδέες. Η τελική ιδέα που θα επιλεγεί θα είναι η ιδέα η οποία θα έχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα, με βάση σταθερές παραμέτρους τις οποίες εξετάσαμε πιο πάνω για κάθε ιδέα ξεχωριστά.

Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζεται η ερμηνεία του κάθε συμβόλου:

Πίνακας 2- 1: Πίνακας συμβόλων

ΣΥΜΒΟΛΑ	ΕΡΜΗΝΙΑ
$D_i$	Σύνολο $n$ ιδεών $i= 1, \dots, n$
$A_j$	Σύνολο χαρακτηριστικών (παραμέτρων) ενδιαφέροντος
$V_j$	Βαρύτητα (σημασία) του χαρακτηριστικού
$P_{ji}$	Σταθμισμένος δείκτης ικανοποίησης του χαρακτηριστικού από την επιλογή σχεδιασμού
$B_i$	Όφελος

Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζεται η βαρύτητα που δώσαμε για κάθε χαρακτηριστικό:

Πίνακας 2- 2: Πίνακας βαρύτητας χαρακτηριστικών

$j$	Χαρακτηριστικά ( $A_j$ )	Βαρύτητα ( $V_j$ )
1	Απόδοση	10
2	Κόστος	9
3	Αξιοπιστία	9
4	Εμφάνιση	8
5	Ευκολία στη χρήση	7
6	Ευκολία στο σχεδιασμό	6
7	Βάρος	5

Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζεται η κλίμακα βαθμολόγησης των χαρακτηριστικών :

Πίνακας 2- 3: Πίνακας Κλίμακας Βαθμολόγησης

Πολύ Καλή	1
Καλή	0,75
Μέτρια	0,50
Κακή	0,25

Στον Πίνακα 2-4 παρουσιάζεται ο βαθμός ικανοποίησης των χαρακτηριστικών για κάθε ιδέα:

Πίνακας 2- 4: Πίνακας βαθμού ικανοποίησης

Βαθμός Ικανοποίησης								
j	Χαρακτηριστικά (A <sub>j</sub> )	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>
1	Απόδοση	Μέτρια	Μέτρια	Πολύ Καλή	Μέτρια	Πολύ Καλή	Καλή	Κακή
2	Κόστος	Πολύ Καλή	Κακή	Καλή	Καλή	Πολύ Καλή	Κακή	Καλή
3	Αξιοπιστία	Κακή	Καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
4	Εμφάνιση	Μέτρια	Καλή	Καλή	Κακή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
5	Ευκολία στη χρήση	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
6	Ευκολία στο σχεδιασμό	Μέτρια	Κακή	Καλή	Μέτρια	Καλή	Κακή	Καλή
7	Βάρος	Καλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Πολύ καλή	Κακή	Καλή

Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζεται ο σταθμισμένος δείκτης ικανοποίησης των χαρακτηριστικών για κάθε ιδέα:

Πίνακας 2- 5: Πίνακας Σταθμισμένου Δείκτη Ικανοποίησης (P<sub>ji</sub>)

A <sub>j</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>
1	0.50	0.50	1	0.50	1	0.75	0.25
2	1	0.25	0.75	0.75	1	0.25	0.75
3	0.25	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50
4	0.50	0.75	0.75	0.25	0.50	0.50	0.50
5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6	0.50	0.25	0.75	0.50	0.75	0.25	0.75
7	0.75	0.50	0.50	0.50	1	0.25	0.75

Στον Πίνακα 2-6 παρουσιάζεται ο υπολογισμός οφέλους των χαρακτηριστικών για κάθε ιδέα:

Πίνακας 2- 6: Πίνακας Υπολογισμού Οφέλους

j	Χαρακτηριστικά (A <sub>j</sub> )	V <sub>j</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>
			V <sub>j</sub> P <sub>j1</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j2</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j3</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j4</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j5</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j6</sub>	V <sub>j</sub> P <sub>j7</sub>
1	Απόδοση	10	5	5	10	5	10	7.5	2.5
2	Κόστος	9	9	2.25	6.75	6.75	9	2.25	6.75
3	Αξιοπιστία	9	2.25	6.75	6.75	4.5	4.5	4.5	4.5
4	Εμφάνιση	8	4	6	6	2	4	4	4
5	Ευκολία στη χρήση	7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
6	Ευκολία στο σχεδιασμό	6	3	1.5	4.5	3	4.5	1.5	4.5
7	Βάρος	5	3.75	2.5	2.5	2.5	5	1.25	3.75
<b>ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΑ</b>		<b>54</b>	<b>30.5</b>	<b>27.5</b>	<b>40</b>	<b>27.25</b>	<b>40.5</b>	<b>24.5</b>	<b>29.5</b>

### Συγκρίσεις Οφέλους

Με βάση τον πίνακα υπολογισμού οφέλους έγινε σύγκριση του οφέλους κάθε ιδέας με το άθροισμα βαρύτητας των χαρακτηριστικών.

$$B_n = \frac{\text{ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΟΦΕΛΟΥΣ}}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ}} \quad (2.1)$$

$$1. B_1 = \frac{30,5}{54} \implies B_1 = 0,56$$

$$2. B_2 = \frac{27,5}{54} \implies B_2 = 0,51$$

$$3. B_3 = \frac{40}{54} \implies B_3 = 0,74$$

$$4. B_4 = \frac{27,25}{54} \implies B_4 = 0,50$$

$$5. B_5 = \frac{40,5}{54} \implies B_5 = 0,75$$

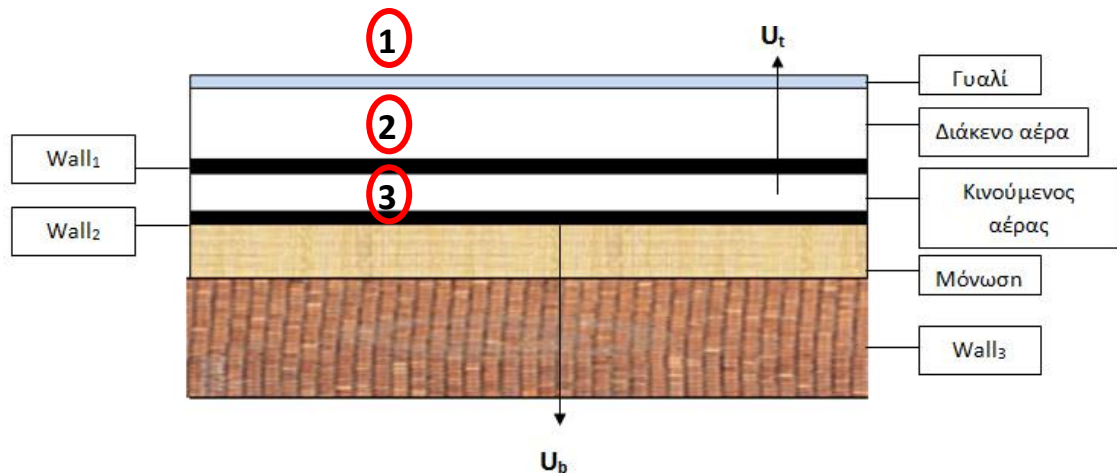
$$6. B_6 = \frac{24,5}{54} \implies B_6 = 0,45$$

$$7. B_7 = \frac{29,5}{54} \implies B_7 = 0,55$$

Μέσω της αξιολόγησης που έγινε με βάση των παραμέτρων σημαντικότητας, παρατηρούμε ότι οι ιδέες 3 και 5 έχουν την μέγιστη βαθμολογία συγκριτικά με τις άλλες ιδέες και έτσι επιλέγονται ως τελικές ιδέες. Τέλος, οι συγκεκριμένες ιδέες θα προχωρήσουν σε περαιτέρω ανάλυση τόσο αναλυτικά όσο και πειραματικά στα παρακάτω κεφάλαια.

### 3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ ΚΤΥΡΙΟΥ

Στο κεφαλαίο αυτό θα γίνει θερμική και υδραυλική ανάλυση συλλέκτη αέρα, όπου διατυπώνονται οι κατάλληλες εξισώσεις για τον υπολογισμό σημαντικών παραμέτρων του συστήματος, όσον αφορά τη μετάδοση θερμότητας στο ενεργειακό σύστημα. Τέτοιες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν το ηλιακό θερμικό σύστημα θα υπολογιστούν βάση της πιο κάτω θερμικής ανάλυσης εξάγοντας την βέλτιστη απόδοση. Η παρακάτω ανάλυση είναι βασισμένη στο βιβλίο Solar Energy Engineering (Kalogirou, 2009)



Σχήμα 3- 1: Δίκτυο αντιστάσεων

#### 3.1 Θερμική ανάλυση

Η ωφέλιμη ενέργεια που παίρνουμε από τον συλλέκτη δίνεται από:

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [G_t(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (3.1)$$

Όπου

$\dot{Q}_u$ : Ωφέλιμη ενέργεια (W)

$T_i$ : Θερμοκρασία εισόδου αέρα (°C)

$T_a$ : Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

$T_p$ : Μέση θερμοκρασία πλάκας ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_o$ : Θερμοκρασία εξόδου ( $^{\circ}\text{C}$ )

$A_c$ : Ωφέλιμο εμβαδό συλλέκτη ( $\text{m}^2$ )

$U_L$ : Συνολικός συντελεστής απώλειας ενέργειας ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$\dot{m}$ : Ρυθμός ροής μάζας ( $\text{Kg}/\text{s}$ )

$C_p$ : Ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση ( $\text{J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$ )

$G_t$ : Επίπεδο ακτινοβολίας ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\tau_a$ : Γινόμενο απορροφητικότητας

$F_R$ : Συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας

Ο συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας ( $F_R$ ) δίνεται από:

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left( 1 - e^{-\frac{U_L \dot{F} A_c}{\dot{m} C_p}} \right) \quad (3.2)$$

Όπου ο συντελεστής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη ( $\dot{F}$ ) δίνεται από:

$$\dot{F} = \frac{h}{h + U_L} \quad (3.3)$$

Όπου  $h$

$$h = h_b + \frac{1}{\left( \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_{rad3}} \right)} \quad (3.4)$$

$h_b$ : Συντελεστή φυσικής συναγωγής εσωτερικά του συλλέκτη ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$h_c$ : Συντελεστή εξαναγκασμένης συναγωγής εσωτερικά του ηλιακού συλλέκτη ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$h_{rad3}$ : Συντελεστής ακτινοβολίας εσωτερικά του ηλιακού συλλέκτη μεταξύ πάνω και κάτω πλάκας ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), δίνεται από:

$$h_{rad3} = \frac{\sigma(T_{wall1} + T_{wall2})(T_{wall1}^2 + T_{wall2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{wall1}} + \frac{1}{\varepsilon_{wall2}} + 1} \quad (3.5)$$

Μέση θερμοκρασία εξόδου του αέρα:

$$T_o = T_i + \frac{\dot{q}A_c}{\dot{m}C_p} \quad (3.6)$$

Όπου  $\dot{q}$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}_u}{A_c} \quad (3.7)$$

Η απόδοση του συλλέκτη δίνεται διαιρώντας την ωφέλιμη ενέργεια δια το ποσοστό ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του:

$$n = \frac{Q_u}{G_t A_c} \quad (3.8)$$

### 3.1.1 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης εξαναγκασμένης συναγωγής και ακτινοβολίας εξωτερικά του συλλέκτη ( $h_a$ )

$$h_a = h_{conv1} + h_{rad1} \quad (3.9)$$

Υποθέτουμε ότι εξωτερικά ρέει αέρας κατά μήκος (L) του ηλιακού συλλέκτη με ταχύτητα 2 m/s. Αρχικά υπολογίζουμε τον αριθμό Reynolds. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τον κρίσιμο αριθμό Reynolds για επίπεδη πλάκα, ο οποίος έχει τιμή  $5 \times 10^5$  για να υπολογίσουμε την κρίσιμη απόσταση ( $x_{cr}$ ). Ακολούθως, χρησιμοποιούμε μια από τις τρεις πιο κάτω περιπτώσεις για τον υπολογισμό του αριθμού Nusselt:

1.  $x_{cr} < 10\% L$  (Τυρβώδης ροή)

$$N_u = 0.037 R_{eL}^{\frac{4}{5}} P_r^{\frac{1}{3}} \quad (3.10)$$

2.  $10\% L < x_{cr} < 90\% L$  (Συνδυασμένη στρωτή και τυρβώδης ροή)

$$N_u = (0.037 R_{eL}^{\frac{4}{5}} - 871) P_r^{\frac{1}{3}} \quad (3.11)$$

3.  $x_{cr} > 90\% L$  (Στρωτή ροή)

$$N_u = 0.664 R_{eL}^{\frac{1}{2}} P_r^{\frac{1}{3}} \quad (3.12)$$

$$h_{conv1} = \frac{Nu k}{L} \quad (3.13)$$

k : Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)

$$h_{rad1} = \varepsilon \sigma (T_{\gamma\alpha\lambda\iota\omicron\upsilon} + T_{surr}) (T_{\gamma\alpha\lambda\iota\omicron\upsilon}^2 + T_{surr}^2) \quad (3.14)$$

$\varepsilon$  : Δείκτης εκπομπής ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )

$\sigma$  : Σταθερά Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$T_{surr}$  : Θερμοκρασία των τριγύρω επιφανειών (K)

Όπου  $T_{surr}$

$$T_{surr} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (3.15)$$

Ο αριθμός Prandtl ( $P_r$ ) και η θερμική αγωγιμότητα (k) υπολογίζονται στη μέση θερμοκρασία (T) και τα παίρνουμε από τον πίνακα ιδιοτήτων του αέρα που βρίσκεται στο παράρτημα A-2.

### 3.1.2 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης φυσικής συναγωγής και ακτινοβολίας εσωτερικά του συλλέκτη ( $h_b$ )

$$h_b = h_{conv2} + h_{rad2} \quad (3.16)$$

Αριθμός Nusselt για κάθετη πλάκα

$$Nu = 0,22 \left( \frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_l \right)^{0.28} \left( \frac{H}{l} \right)^{-\frac{1}{4}} \quad (3.17)$$

H: Ύψος γυαλιού (m)

l: Διάκενο μεταξύ απορροφητικής πλάκας και γυαλιού (m)



Ο αριθμός Rayleigh ( $R_{al}$ ) δίνεται απο :

$$R_{al} = \frac{g\beta(T_{wall1}-T_{glass})l^3}{\nu^2} P_r \quad (3.18)$$

Όπου

$\beta$ : Συντελεστής διαστολής όγκου (1/K)

$T_{wall1}$ : Θερμοκρασία επιφάνειας απορροφητικής πλάκας (K)

$T_{glass}$ : Θερμοκρασία επιφάνειας γυαλιού (K)

$P_r$ : Αριθμός Prandtl

$L$ : Ύψος γυαλιού (m)

Όπου  $\beta$

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (3.19)$$

$T$ : Μέση θερμοκρασία (K)

$$h_{conv2} = \frac{Nu k}{l} \quad (3.20)$$

$k$ : Θερμική αγωγιμότητα αέρα μεταξύ απορροφητικής πλάκας και γυαλιού (W/mK)

$$h_{rad2} = \frac{\sigma(T_{\gamma\alpha\lambda\iota\acute{o}\upsilon}+T_{wall1})(T_{\gamma\alpha\lambda\iota\acute{o}\upsilon}^2+T_{wall1}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{\gamma\alpha\lambda\iota\acute{o}\upsilon}}+\frac{1}{\epsilon_{wall1}}+1} \quad (3.21)$$

### 3.1.3 Υπολογισμός συντελεστή συνδυασμένης εξαναγκασμένης συναγωγής και ακτινοβολίας εσωτερικά του ηλιακού συλλέκτη ( $h_c$ )

$$h_c = h_{conv3} + h_{rad3} \quad (3.22)$$

$h_{conv3}$  : Συντελεστής εξαναγκασμένης συναγωγής εσωτερικά ( $W/m^2K$ )

Αριθμός Nusselt για στρωτή και τυρβώδης ροή υπολογίζονται όπως φαίνεται πιο κάτω:

➤ Στρωτή ροή

Για στρωτή ροή ο αριθμός Nusselt υπολογίζεται με βάση τον πίνακα που βρίσκεται στο παράρτημα Α-1.

➤ Τυρβώδης ροή

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (3.23)$$

$$h_{conv3} = \frac{Nu k}{D_h} \quad (3.24)$$

### 3.1.4 Υπολογισμός συνολικού συντελεστή απώλειας ενέργειας ( $U_L$ ) χρησιμοποιώντας την μέθοδο των αντιστάσεων

$$U_L = U_t + U_b \quad (3.25)$$

$U_t$ : Συντελεστής απώλειας θερμότητας από την κάτω πλάκα και πάνω ( $W/m^2K$ )

$U_b$ : Συντελεστής απώλειας θερμότητας από την κάτω πλάκα και κάτω ( $W/m^2K$ )

Όπου  $U_t$

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{h_a} + \frac{L_{glass}}{k_{glass}} + \frac{1}{h_b} + \frac{L_{wall1}}{k_{wall1}} + \frac{1}{h_c} + \frac{L_{wall2}}{k_{wall2}}} \quad (3.26)$$

Όπου  $U_b$

$$U_b = \frac{L_{μόνωσης}}{k_{μόνωσης}} + \frac{L_{wall3}}{k_{wall3}} \quad (3.27)$$

### 3.2 Υδραυλική ανάλυση

Ισχύς αντλίας αέρα δίνεται από:

$$\dot{W} = \dot{V} \Delta p = \frac{\dot{m} \Delta p}{\rho} \quad (3.28)$$

Όπου

$\dot{W}$ : Ισχύς Αντλίας (W)

$\dot{m}$ : Ροή Μάζας (Kg/s)

$\Delta p$ : Πτώση πίεσης (Pa)

$\rho$ : Πυκνότητα Ρευστού (Kg/m<sup>3</sup>)

$\dot{V}$ : Ροή όγκου (m<sup>3</sup>/s)

Πτώση πίεσης (Εξίσωση Bernoulli):

$$\Delta p = h \rho g + \left( \frac{V_{avg}^2 \rho}{2} \right) + h_f \rho g + h_m \rho g \quad (3.29)$$

Όπου

$h$ : Υψομετρική διαφορά (m)

$g$ : Επιτάχυνση βαρύτητας (m/s<sup>2</sup>)

$V_{avg}$ : Μέση ταχύτητα αέρα (m/s)

$h_f$ : Πρωτεύον απώλειες

$h_m$ : Δευτερεύουσες απώλειες

Όπου  $h_m$

$$h_m = \sum k_i \frac{V_{avg}^2}{2g} \quad (3.30)$$

$k_i$ : Συντελεστής απωλειών λόγω αλλαγών στη διεύθυνση της ροής(180°)

Όπου  $k_i$

$$k_i = 1.49R_e^{-0.145} \quad (3.31)$$

Όπου  $V_{avg}$

$$V_{avg} = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad (3.32)$$

Όπου  $h_f$

$$h_f = f \frac{LV_{avg}^2}{D_h 2g} \quad (3.33)$$

L: Μήκος αγωγού (m)

$D_h$ : Υδραυλική διάμετρος (m)

f : Παράγοντας τριβής

Όπου  $D_h$  είναι η υδραυλική διάμετρος που δίνεται από:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (3.34)$$

P : Περίμετρος (m)

A: Εμβαδό διατομής (m<sup>2</sup>)

### 3.2.1 Υπολογισμός παράγοντα τριβής $f$

- Υπολογισμός αριθμού Reynolds

$$Re = \frac{\rho V_{avg} D_h}{\mu} = \frac{V_{avg} D_h}{\nu} \quad (3.35)$$

$\mu$ : Ιξώδες (Kg/ms)

$\nu$ : Κινηματικό ιξώδες (m<sup>2</sup>/s)

- Εσωτερική ροή σε αγωγό

Στρωτή ροή :  $Re < 2300$

Μεταβατική ροή :  $2300 \leq Re \leq 4000$

Πλήρως τυρβώδης :  $Re > 4000$

Ο υπολογισμός του συντελεστή τριβής ( $f$ ) μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια διαγράμματος Moody ή της αναλυτικής μεθόδου:

#### *Αναλυτική μέθοδος*

- Στρωτή ροή

Για στρωτή ροή ο παράγοντας τριβής υπολογίζεται με βάση τον πίνακα που βρίσκεται στο παράρτημα A-1.

- Τυρβώδης ροή

$$f = 0.184 Re^{-0.2} \quad (3.36)$$

#### *Διάγραμμα Moody*

Με την βοήθεια του διαγράμματος Moody βρίσκεται στο παράρτημα A-3, υπολογίζετε ο παράγοντας τριβής ο οποίος είναι αναγκαίος για τον υπολογισμό του αριθμού Nusselt. Πρέπει να υπολογιστεί ο όρος  $\varepsilon/D_h$  όπου βρίσκονται κατανεμημένες ο τιμές αυτές στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος.

$\varepsilon$ : Τραχύτητα αγωγού (m)

### 3.3 Λογισμικό προσομοίωσης

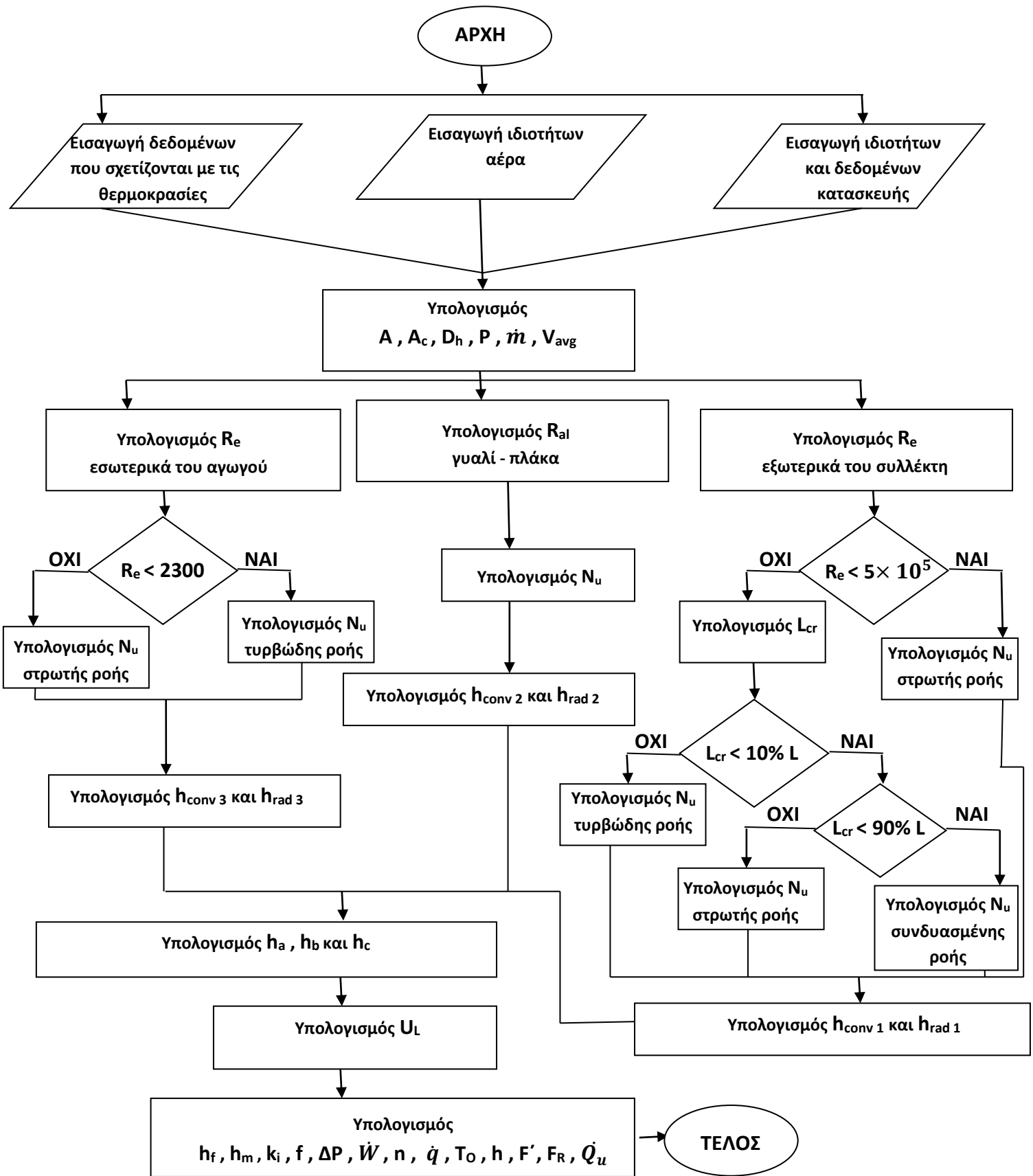
Στο παρόν κεφάλαιο δημιουργήθηκε ένα λογισμικό προσομοιώσεις στο οποίο εισάχθηκαν όλες οι εξισώσεις θερμικής ανάλυσης που προαναφέρθηκαν στο πιο πάνω κεφάλαιο. Ο σκοπός της δημιουργίας του λογισμικού αυτού είναι η εξαγωγή των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων που επηρεάζουν την λειτουργία του όλου συστήματος. Επίσης με βάση το συγκεκριμένο λογισμικό θα παρθούν οι κατάλληλες διαστάσεις και σταθερές για την υλοποίηση της κάθε κατασκευής.

Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν σε μορφή προγράμματος με την βοήθεια του λογισμικού της Microsoft Office Excel, ούτως ώστε να παρέχεται αυτόματος υπολογισμός των σημαντικών παραμέτρων του συστήματος σε τυχόν αλλαγές που θα χρειαστούν να γίνουν.

Πριν την δημιουργία του συγκεκριμένου προγράμματος, κατασκευάστηκαν κάποια γραφήματα μέσω των οποίων εξάχθηκαν οι αντίστοιχες εξισώσεις όλων των δεδομένων ( $c_p$ ,  $P_r$ ,  $\nu$ ,  $\kappa$ ,  $\rho$ ) που απαιτούνται για τον ακριβή υπολογισμό των διάφορων θερμοκρασιών κάθε εξίσωσης (βλ. Παράρτημα Β).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια της δημιουργίας του συγκεκριμένου προγράμματος παρουσιάζεται μέσα από το διάγραμμα ροής δεδομένων που ακολουθεί (βλ. Σχήμα 3-2).

Το πιο κάτω διάγραμμα ροής, δείχνει την διαδικασία των διάφορων παραμέτρων του συλλέκτη αέρα. Σταθερές στο σύστημα θεωρούνται τα  $G_t$ ,  $T_i$ ,  $T_{wall}$ ,  $T_{glass}$ ,  $T_{surr}$ ,  $T_a$ ,  $g$ ,  $\kappa$ ,  $\epsilon$  και  $\sigma$ . Ακόλουθος, γίνεται εισαγωγή ιδιοτήτων του αέρα και όλων των διαστάσεων του συλλέκτη. Ανάλογα με τον Reynolds number η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης και υπολογίζεται ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε κάθε περίπτωση. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός  $U_L$  και έπειτα των παραμέτρων του ενεργειακού συστήματος  $h_f$ ,  $h_m$ ,  $k_i$ ,  $f$ ,  $\Delta P$ ,  $\dot{W}$ ,  $n$ ,  $\dot{q}$ ,  $T_o$ ,  $h$ ,  $F'$ ,  $F_R$  και  $\dot{Q}_u$ .



Σχήμα 3- 2: Διάγραμμα ροής της θερμικής ανάλυσης

### 3.4 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών συλλεκτών

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο έγιναν διάφορες αλλαγές και μετατροπές στο πρόγραμμα προσομοίωση που δημιουργήθηκε, για να εντοπιστούν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά του κάθε συλλέκτη πριν την έναρξη της διαδικασίας για την κατασκευή τους. Οι κυριότεροι παράμετροι που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά ενός συλλέκτη είναι η ροή μάζας, η υδραυλική διάμετρος και το ολικό μήκος του αγωγού ροής αέρα. Αλλάζοντας στο πρόγραμμα τις πιο πάνω παραμέτρους εντοπίστηκαν οι βέλτιστες λύσεις. Επίσης, κατά την διαδικασία αυτή λάβαμε υπόψη το σταθερό ωφέλιμο εμβαδό του συλλέκτη για να υπολογίσουμε τις διαδρομές και στροφές του αγωγού. Πιο κάτω καταγράφονται τα αποτελέσματα για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) (βλ. Πίνακα 3-1) και του συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα) (βλ. Πίνακα 3-3) σε σχέση με την ροή μάζας. Επιπρόσθετα, καταγράφονται τα αποτελέσματα για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) (βλ. Πίνακα 3-2) και του συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα) (βλ. Πίνακα 3-4) σε σχέση με την υδραυλική διάμετρο.

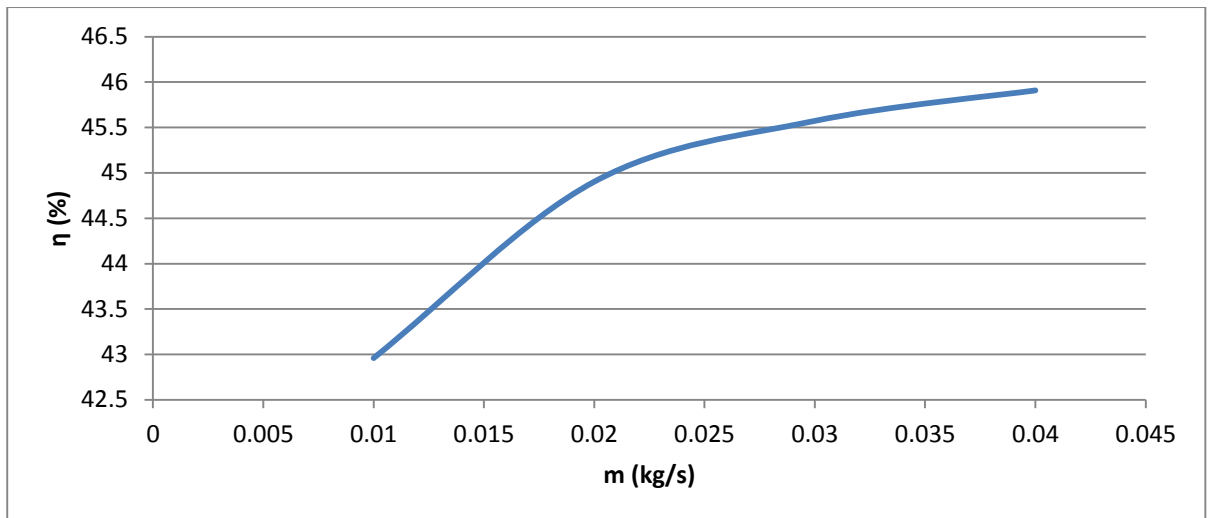
**Πίνακας 3- 1: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την ροή μάζας για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)**

<b>Σταθερή υδραυλική διάμετρος (<math>D_h</math>) 0,0875 m</b>			
<b><math>\dot{m}</math>(Kg/s)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>	<b><math>\dot{Q}_u</math>(W)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>
0.01	42.96	519.83	51.6
0.02	44.90	543.34	26.9
0.03	45.57	551.45	18.3
0.04	45.91	555.51	13.8

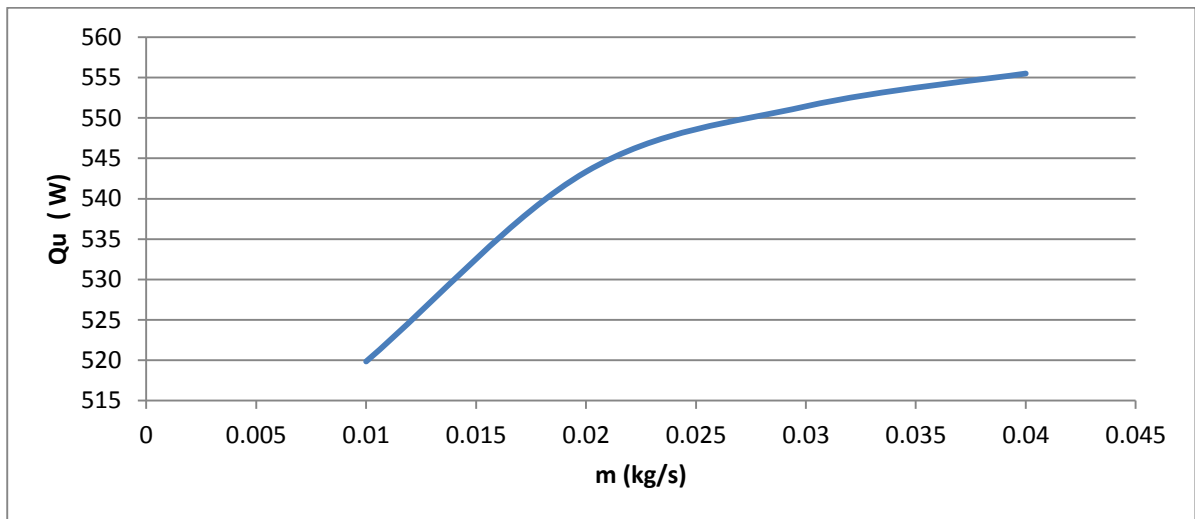
Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, με σταθερή υδραυλική διάμετρο ( $D_h$ ) 0,0875 m η μεγαλύτερη απόδοση είναι 45,91% και η μεγαλύτερη ωφέλιμη ενέργεια είναι 555,51 W όταν η ροή μάζας φτάνει τα 0,04 Kg/s. Επίσης, η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας παρατηρείται όταν η ροή μάζας είναι ελάχιστη 0,01 Kg/s. Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής της μάζας δημιουργήθηκαν τα πιο κάτω διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η ροή μάζας σε σχέση με την απόδοση ( $\eta$ ), με την ωφέλιμη ενέργεια ( $\dot{Q}_u$ ) και με την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ).

Εν κατακλείδι, αυτό που παρατηρούμαι από τα πιο κάτω διαγράμματα είναι ότι για ροή μάζας από 0,01 – 0,02 Kg/s έχουμε μια απότομη μεταβολή, ενώ από 0,02 – 0,04 Kg/s έχουμε αμελητέα μεταβολή, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη ροή μάζας είναι περίπου 0,02 Kg/s αφού η περαιτέρω αύξηση είναι αμελητέα.

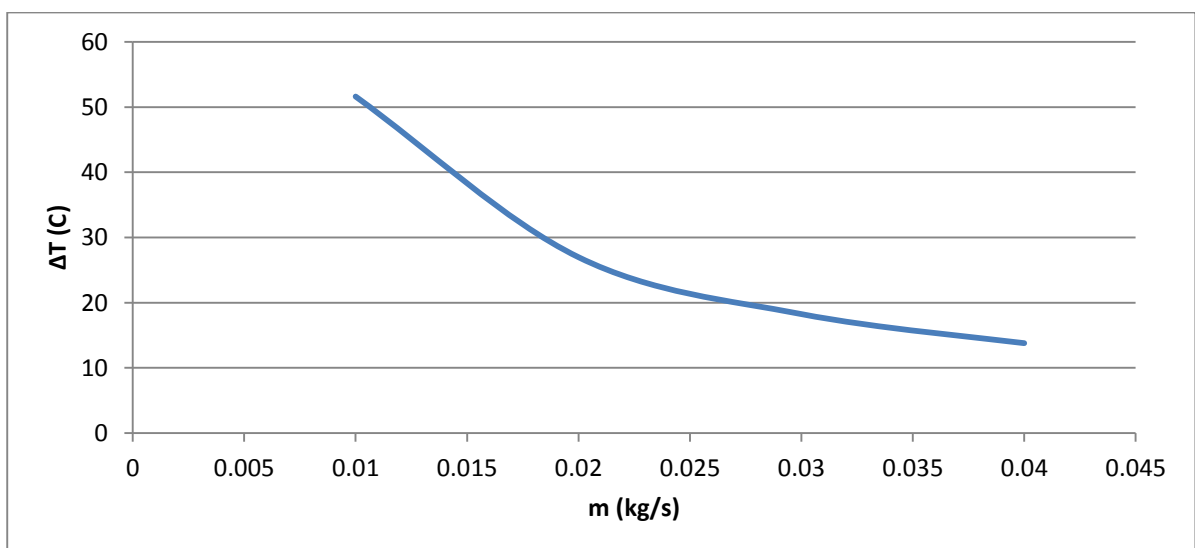




Σχήμα 3- 3: Γραφική παράσταση απόδοσης - ροής μάζας



Σχήμα 3- 4: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - ροής μάζας



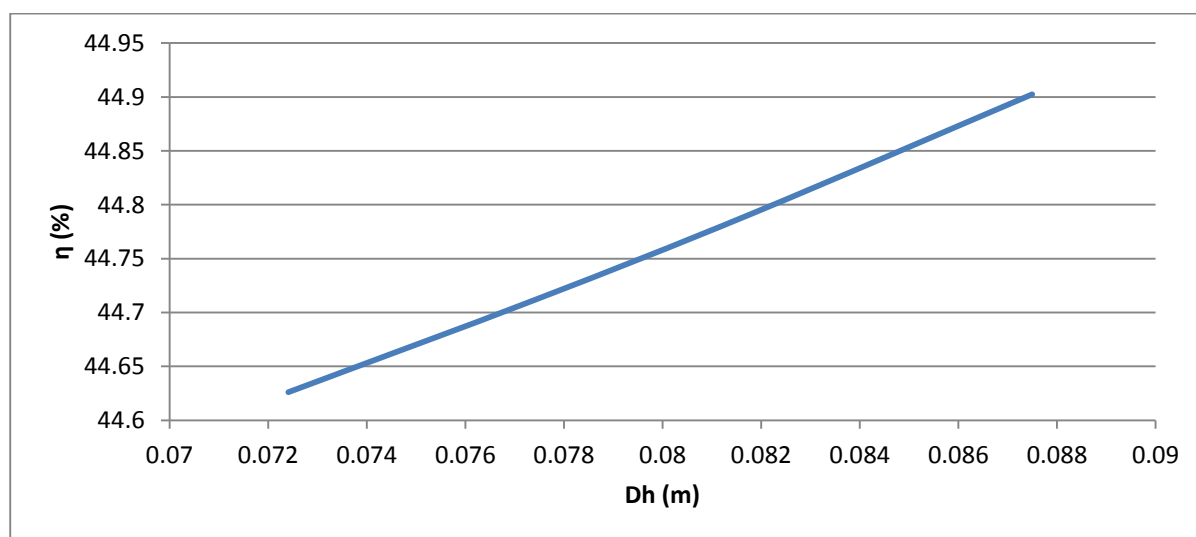
Σχήμα 3- 5: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - ροής μάζας

Πίνακας 3- 2: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την υδραυλική διάμετρο για το συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

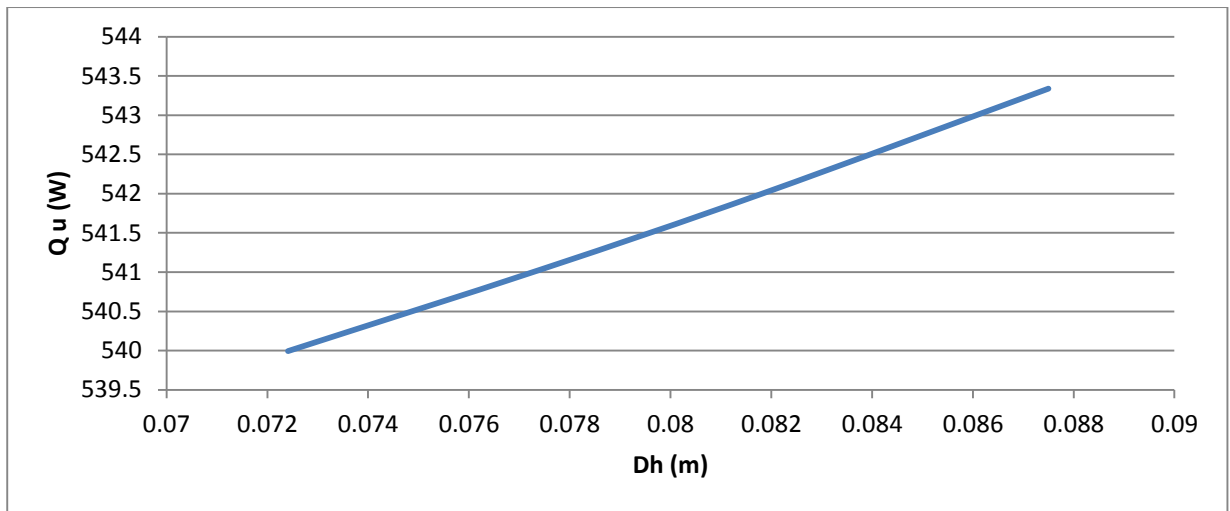
Σταθερή ροή μάζας 0,02 Kg/s								
a (m)	b (m)	D <sub>h</sub> (m)	L (m)	η (%)	Q <sub>u</sub> (W)	ΔT (°C)	Διαδρομές	W(W)
0.075	0.07	0.072	19.62	44.63	539.99	26.8	12	18.38
0.075	0.08	0.077	16.35	44.71	541.03	26.9	10	10.45
0.075	0.09	0.082	14.72	44.79	542	26.9	9	6.77
0.075	0.105	0.088	13.08	44.90	543.34	26.9	8	3.95

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, με σταθερή ροή μάζας ( $\dot{m}$ ) 0,02 Kg/s η μεγαλύτερη απόδοση είναι 44,90%, η μεγαλύτερη ωφέλιμη ενέργεια είναι 543,34 W και η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 26,9 °C, όταν η υδραυλική διάμετρος φτάνει τα 0,0875 m. Επίσης, η μεγαλύτερη απαιτούμενη ισχύς του ανεμιστήρα παρατηρείται όταν η υδραυλική διάμετρος είναι 0,072 m. Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής της υδραυλικής διαμέτρου δημιουργήθηκαν τα πιο κάτω διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η υδραυλική διάμετρος σε σχέση με την απόδοση ( $\eta$ ), με την ωφέλιμη ενέργεια ( $Q_u$ ), με την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και με την απαιτούμενη ισχύ ( $\dot{W}$ ).

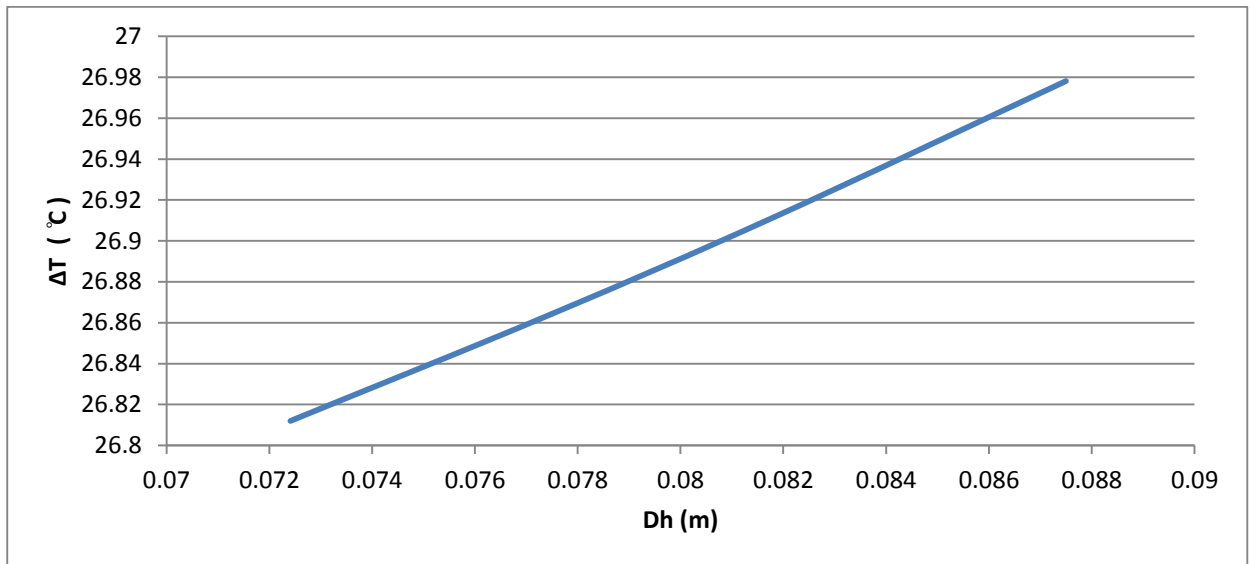
Εν κατακλείδι, αυτό που παρατηρούμαι από τα πιο κάτω διαγράμματα είναι ότι όσο αυξάνεται η υδραυλική διάμετρος, αυξάνονται σε πολύ χαμηλό βαθμό η απόδοση, η ωφέλιμη ενέργεια και η διαφορά θερμοκρασίας. Αντίθετα, η απαιτούμενη ισχύς μειώνεται αισθητά όσο αυξάνεται η υδραυλική διάμετρος, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη υδραυλική διάμετρος είναι 0,088 m.



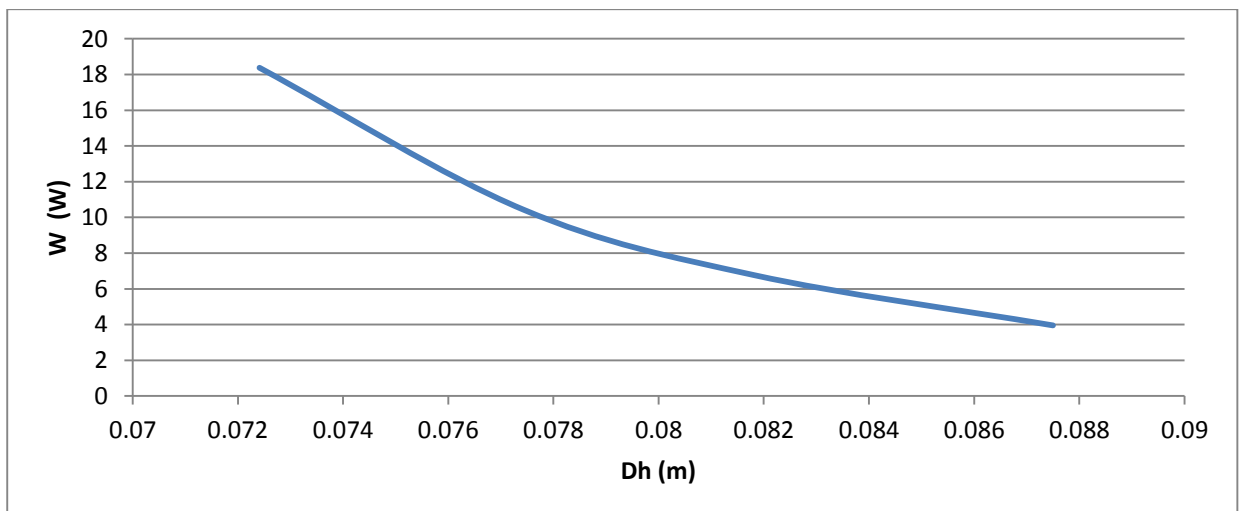
Σχήμα 3- 6: Γραφική παράσταση απόδοσης - υδραυλικής διαμέτρου



Σχήμα 3- 7: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - υδραυλικής διαμέτρου



Σχήμα 3- 8: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - υδραυλικής διαμέτρου



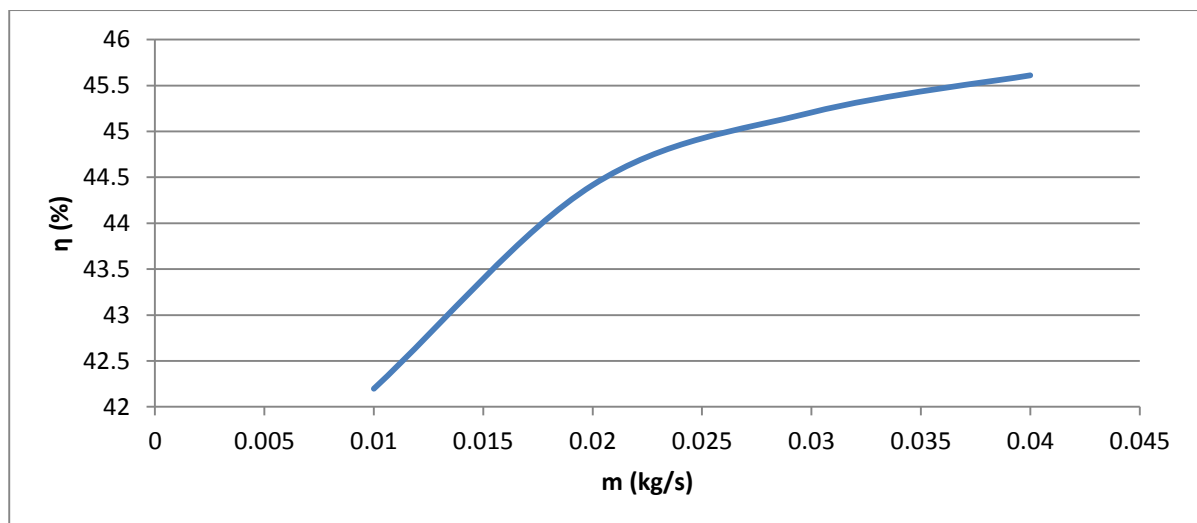
Σχήμα 3- 9: Γραφική παράσταση ισχύος - υδραυλικής διαμέτρου

**Πίνακας 3- 3: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την ροή μάζας για το συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα)**

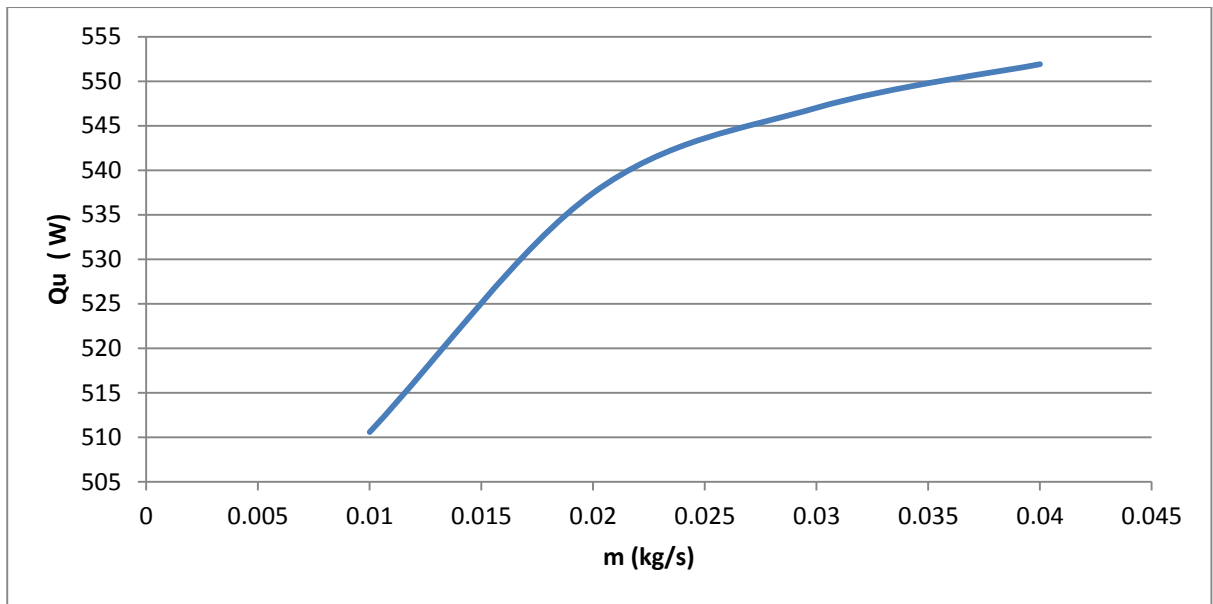
Σταθερή υδραυλική διάμετρος ( $D_h$ ) 0,06 m			
$\dot{m}$ (Kg/s)	$\eta$ (%)	$\dot{Q}_u$ (W)	$\Delta T$ (°C)
0,01	42,19	510,59	50,7
0.02	44.42	537.45	26.7
0.03	45.21	547.01	18.1
0.04	45.61	551.91	13.7

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, με σταθερή υδραυλική διάμετρο ( $D_h$ ) 0,06 m η μεγαλύτερη απόδοση είναι 45,61% και η μεγαλύτερη ωφέλιμη ενέργεια είναι 551,91 W όταν η ροή μάζας φτάνει τα 0,04 Kg/s. Επίσης, η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας παρατηρείται όταν η ροή μάζας είναι ελάχιστη 0,01 Kg/s. Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής της μάζας δημιουργήθηκαν τα πιο κάτω διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η ροή μάζας σε σχέση με την απόδοση ( $\eta$ ), με την ωφέλιμη ενέργεια ( $\dot{Q}_u$ ) και με την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ).

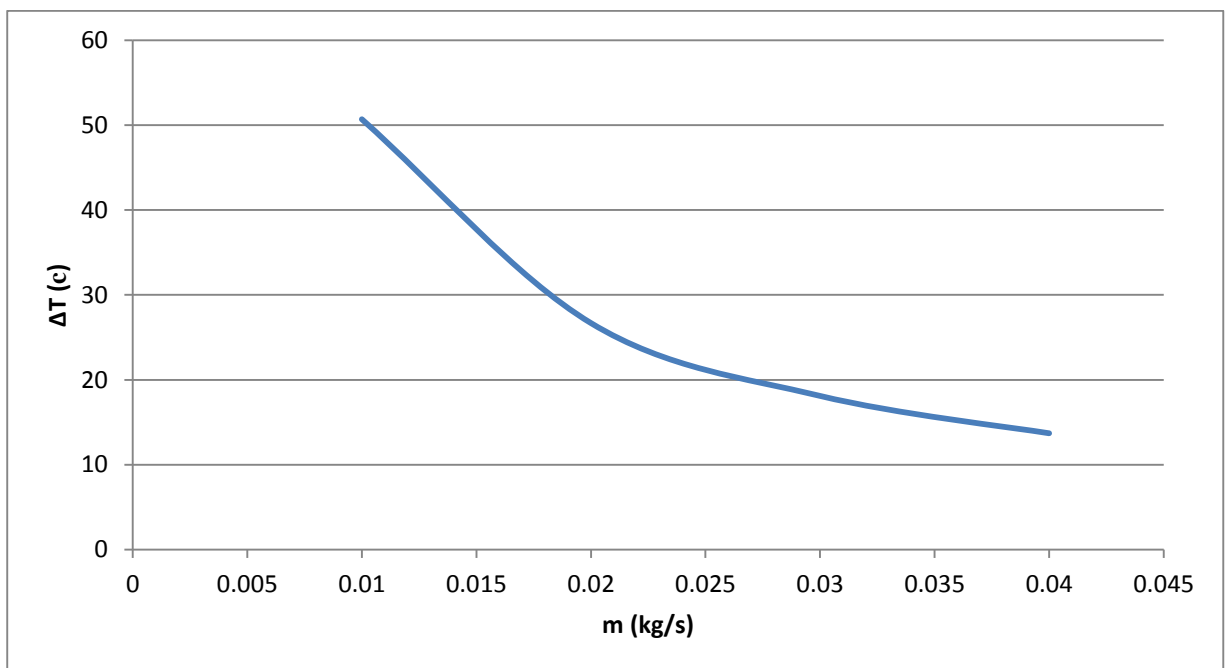
Εν κατακλείδι, αυτό που παρατηρούμαι από τα πιο κάτω διαγράμματα είναι ότι για ροή μάζας από 0,01 – 0,02 Kg/s έχουμε μια απότομη μεταβολή, ενώ από 0,02 – 0,04 Kg/s έχουμε αμελητέα μεταβολή, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη ροή μάζας είναι περίπου 0,02 Kg/s αφού η περαιτέρω αύξηση είναι αμελητέα.



**Σχήμα 3- 10: Γραφική παράσταση απόδοσης - ροής μάζας**



Σχήμα 3- 11: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - ροής μάζας



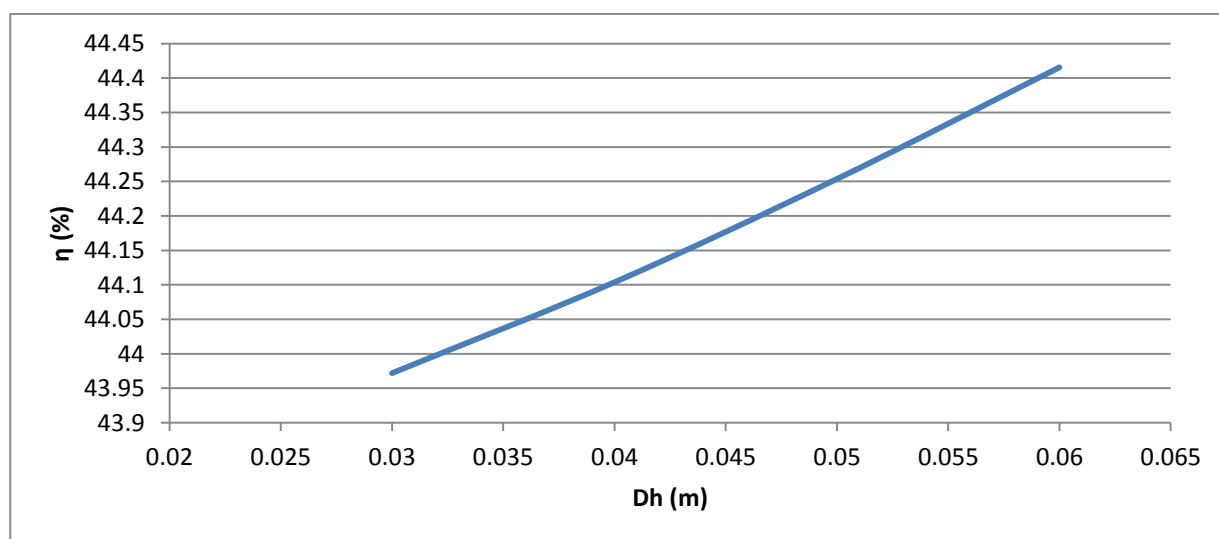
Σχήμα 3- 12: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - ροής μάζας

Πίνακας 3- 4: Βέλτιστες τιμές σε σχέση με την υδραυλική διάμετρο για το συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα)

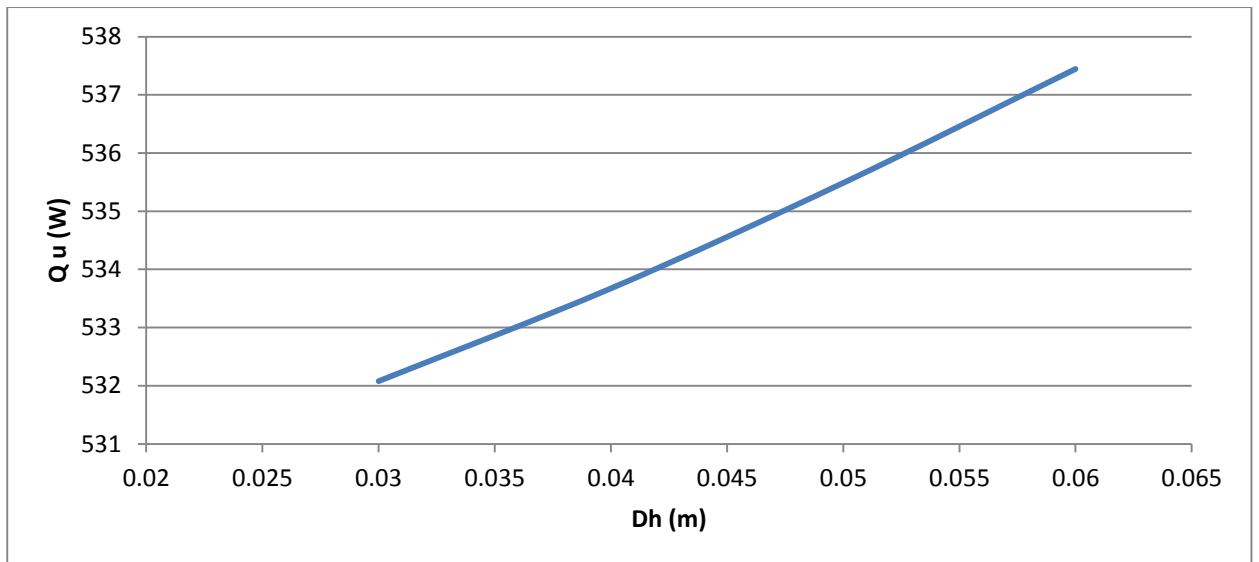
Σταθερή ροή μάζας 0,02 Kg/s								
a (m)	b (m)	D <sub>h</sub> (m)	L (m)	η (%)	Q̇ <sub>u</sub> (W)	ΔT (°C)	Διαδρομές	Ẇ(W)
0,03	0,03	0,03	21,71	43,97	532,08	26,4	13	3305,40
0.04	0.04	0.04	15.11	44.10	533.67	26.5	9	438.04
0.05	0.05	0.05	11.94	44.25	535.49	26.6	7	94.83
0.06	0.06	0.06	10.29	44.42	537.45	26.7	6	28.59

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, με σταθερή ροή μάζας ( $\dot{m}$ ) 0,02 Kg/s η μεγαλύτερη απόδοση είναι 44,42%, η μεγαλύτερη ωφέλιμη ενέργεια είναι 537,45 W και η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 26,7 °C, όταν η υδραυλική διάμετρος φτάνει τα 0,06 m. Επίσης, η μεγαλύτερη απαιτούμενη ισχύς του ανεμιστήρα παρατηρείται όταν η υδραυλική διάμετρος είναι 0,03 m. Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής της υδραυλικής διαμέτρου δημιουργήθηκαν τα πιο κάτω διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η υδραυλική διάμετρος σε σχέση με την απόδοση ( $\eta$ ), με την ωφέλιμη ενέργεια ( $\dot{Q}_u$ ), με την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και με την απαιτούμενη ισχύ ( $\dot{W}$ ).

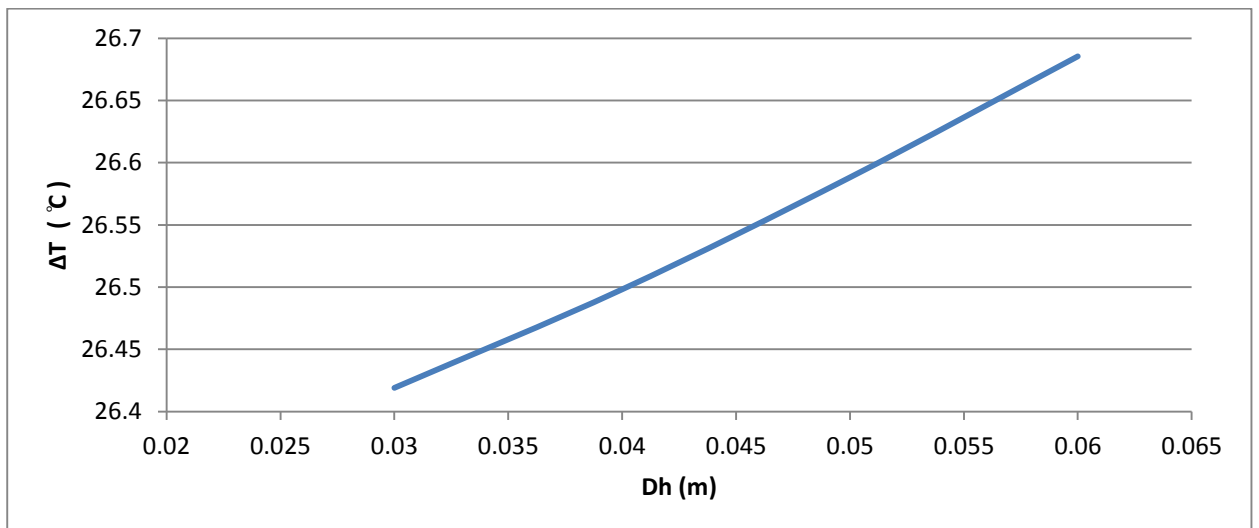
Εν κατακλείδι, αυτό που παρατηρούμαι από τα πιο κάτω διαγράμματα είναι ότι όσο αυξάνεται η υδραυλική διάμετρος, αυξάνονται σε πολύ χαμηλό βαθμό η απόδοση, η ωφέλιμη ενέργεια και η διαφορά θερμοκρασίας. Αντίθετα, η απαιτούμενη ισχύς μειώνεται εσθήτα όσο αυξάνεται η υδραυλική διάμετρος, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη υδραυλική διάμετρος είναι 0,06 m.



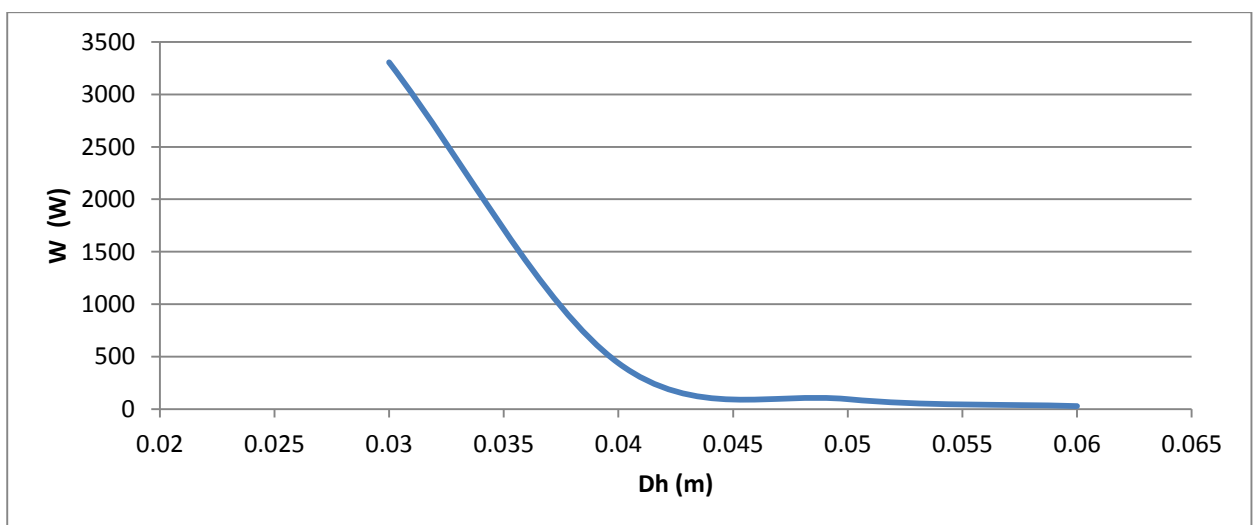
Σχήμα 3- 13: Γραφική παράσταση απόδοσης - υδραυλικής διαμέτρου



Σχήμα 3- 14: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας - υδραυλικής διαμέτρου



Σχήμα 3- 15: Γραφική παράσταση διαφοράς θερμοκρασίας - υδραυλικής διαμέτρου



Σχήμα 3- 16: Γραφική παράσταση ισχύος - υδραυλικής διαμέτρου

### 3.5 Συμπεράσματα από την ανάλυση των δύο συλλεκτών

Με βάση την μεταβολή της ροής μάζας φαίνεται ότι και για τον συλλέκτη με τα εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π), αλλά και για τον συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) η βέλτιστη ροή μάζας είναι 0,02 Kg/s. Επίσης, με βάση την μεταβολή της υδραυλικής διαμέτρου φαίνεται ότι για τον συλλέκτη με τα εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) η βέλτιστη τιμή είναι 0,088 m, ενώ για τον συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) η βέλτιστη τιμή είναι 0,06 m.

### 3.6 Τελικές τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των συλλεκτών

Με βάση το πρόγραμμα προσομοίωσης υπολογίστηκαν τα βέλτιστα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο συλλεκτών τα οποία θα αναφερθούν πιο κάτω.

Και στις δύο περιπτώσεις το ωφέλιμο εμβαδό του πλαισίου είναι 0,84 m× 1,635 m για το λόγο ότι ο υαλοπίνακας προϋπήρχε, έτσι οι διαστάσεις του ήταν προκαθορισμένες. Το μήκος του αγωγού και η υδραυλική διάμετρος για τον συλλέκτη με τα εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) υπολογίστηκαν στα 13,08 m και 0,088 m αντίστοιχα, ενώ για τον συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) στα 10,29 m και 0,06 m αντίστοιχα. Επίσης, η ροή μάζας του αέρα και στις δύο περιπτώσεις υπολογίστηκε ως βέλτιστη τιμή 0,02 Kg/s.

Τέλος, το μηχανικό μέσο που χρειάζεται για την κίνηση του αέρα μέσα στον αγωγό ήταν ο ανεμιστήρας TD-160/100 N SILENT (βλ. Παράρτημα Δ), ο οποίος προϋπήρχε και αυτός, αφού χρησιμοποιήθηκε σε παρόμοια διπλωματική εργασία (βλ. Σχήμα 3-17).



Σχήμα 3- 17: Ανεμιστήρας TD - 160/100 N SILENT



## 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ

Στην συγκεκριμένη ενότητα αποφασίστηκε η κατασκευή των δύο ιδεών με την ψηλότερη αξιολόγηση η οποία είναι και η πιο συμφέρουσα και πιο αποδοτική με βάση τον προϋπολογισμό που ήταν διαθέσιμος. Πιο κάτω θα αναλυθούν το κόστος και η διαδικασία κατασκευής του κάθε συλλέκτη.

### 4.1 Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει διαστάσεις 1,635 m× 0,84 m και ωφέλιμο εμβαδό 1,37 m<sup>2</sup>. Στο πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται τα υλικά και το κόστος που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και τον σχεδιασμό του συλλέκτη.

Πίνακας 4- 1: Υλικά κατασκευής και κοστολόγηση

Υλικά κατασκευής	
Όνομα	Κόστος (€)
Θερμομόνωση	$3\text{m}^2 \times 3 = 9$
Λαμαρίνες	45
Μπογιά (Μαύρη Mad)	15
Αστάρι	12
Σιλικόνη Φωτιάς	$3 \times 7 = 21$
Κοινή Σιλικόνη	5
Ξυλεία	40
Βίδες	5
Γωνιές συνένωσης	$12 \times 1 = 12$
Διαχωριστικά Π	26
Προστατευτικό γυαλιού (Foum)	5
<b>Σύνολο</b>	<b>€ 195</b>

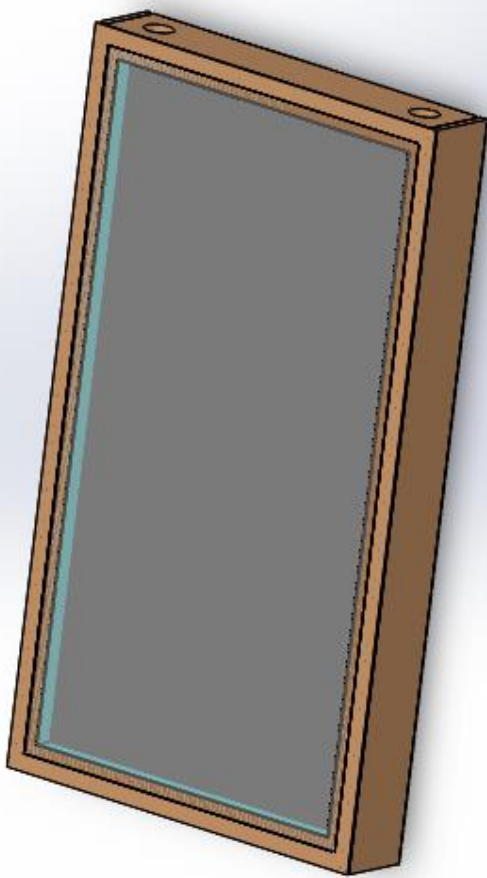
#### 4.2 Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει διαστάσεις  $1,635 \text{ m} \times 0,84 \text{ m}$  και ωφέλιμο εμβαδό  $1,37 \text{ m}^2$ . Στο πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται τα υλικά και το κόστος που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και τον σχεδιασμό του συλλέκτη.

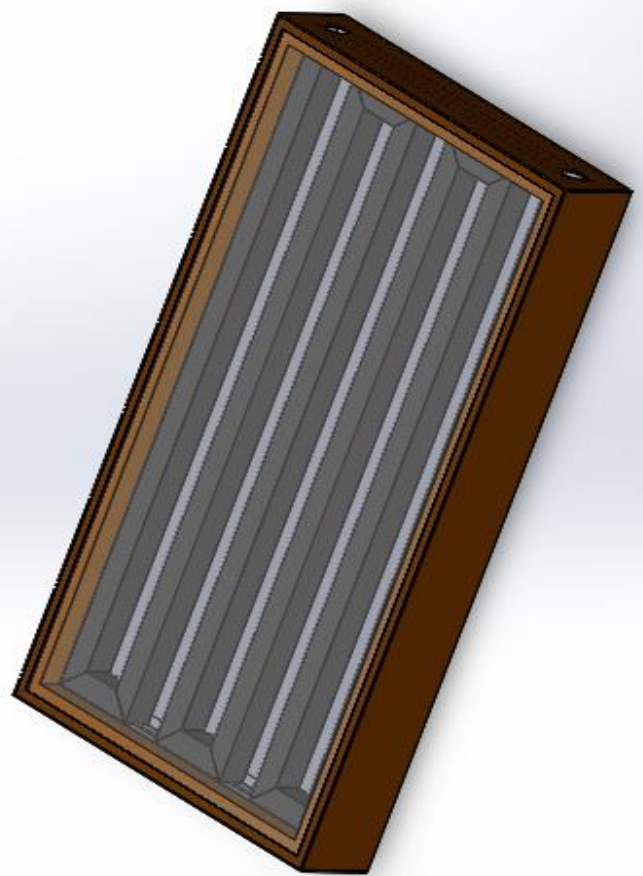
Πίνακας 4- 2: Υλικά κατασκευής και κοστολόγηση

Υλικά κατασκευής	
Όνομα	Κόστος (€)
Θερμομόνωση	$3\text{m}^2 \times 3 = 9$
Λαμαρίνες	20
Μπογιά (Μαύρη Mad)	15
Αστάρι	12
Ξυλεία	50
Βίδες	5
Γωνιές συνένωσης	$4 \times 1 = 4$
Πασαμάννα	30
Προστατευτικό γυαλιού (Foum)	5
Διαχωριστικά Π	5
<b>Σύνολο</b>	<b>€ 155</b>

Οι τελικές ιδέες όπως είχαν διαμορφωθεί με τον αρχικό σχεδιασμό τους παρουσιάζονται στις πιο κάτω εικόνες. Ο σχεδιασμός της κάθε κατασκευής αλλά και η συναρμολόγησή τους για την δημιουργία των τελικών κατασκευών (βλ. Σχήμα 4-1, 4-2), έγινε με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks. Το πρόγραμμα, μας έδωσε την ευκαιρία για λεπτομερές σχεδιασμό των διαστάσεων της όλης κατασκευής (βλ. Παράρτημα Ε ).



Σχήμα 4- 1: Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)



Σχήμα 4- 2: Συλλέκτης με τετράγονους αγωγούς μετάλλου (πασαμάνια)

### 4.3 Στάδια κατασκευής του κάθε συλλέκτη

Με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια που παρουσιάζονται στο παράρτημα Ε πραγματοποιήθηκε η κατασκευή κάθε συλλέκτη μέχρι να φτάσει στην τελική του μορφή (βλ. Σχήμα 4-3, 4-4). Η τελική συναρμολόγηση κάθε κατασκευής και η λήψη των μετρήσεων έγινε στην οροφή του κτηρίου 'Δωροθέα' (ΤΕ.ΠΑ.Κ) και στο εργαστήριο ηλιακής ενέργειας «Αρχιμήδης». Τα στάδια που ακολουθήθηκαν παρουσιάζονται πιο κάτω.



Σχήμα 4- 4: Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)



Σχήμα 4- 3: Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

### 4.3.1 Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

#### 4.3.1.1 Πρώτο Στάδιο

Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο έγινε η κατασκευή του ξύλινου πλαισίου το οποίο έχει διαστάσεις 1,735 m × 0.94 m και στην συνέχεια ενσωματώθηκαν τα ξύλα στις εξωτερικές του πλευρές (βλ. Σχήμα 4-5).



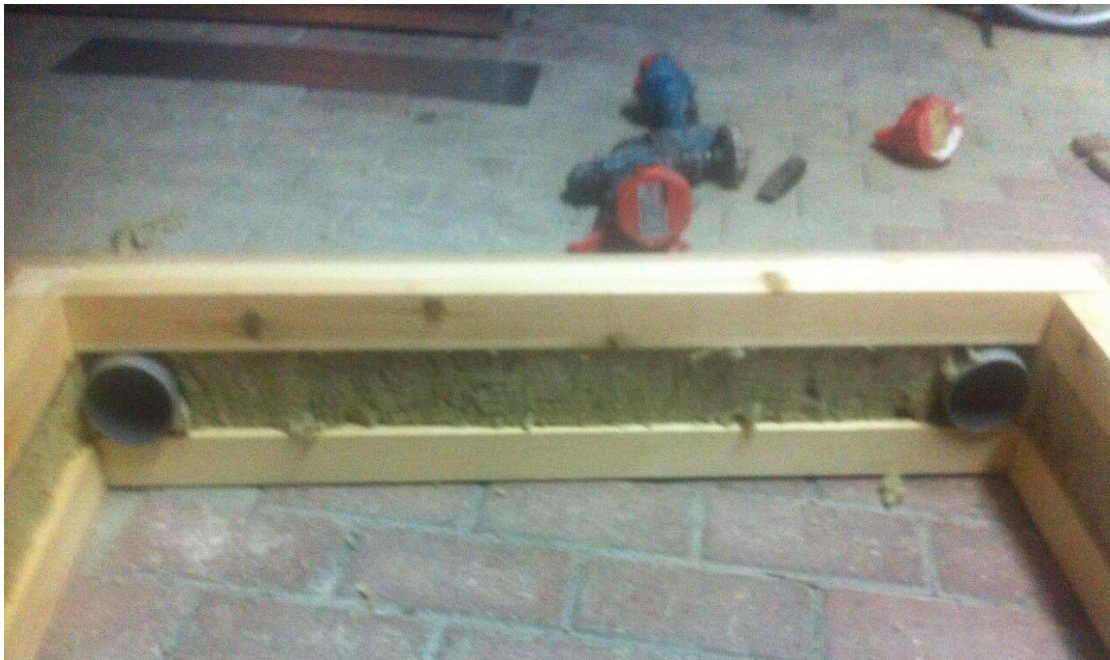
Σχήμα 4- 5: Κατασκευή ξύλινου πλαισίου

#### 4.3.1.2 Δεύτερο Στάδιο

Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκε μόνωση πετροβάμβακα στα περιμετρικά διάκενα του πλαισίου (βλ. Σχήμα 4- 6). Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν δυο οπές στην πάνω πλευρά του πλαισίου (βλ. Σχήμα 4- 7), οι οποίες λειτουργούν η μία ως είσοδος και η άλλη ως έξοδος του αέρα.



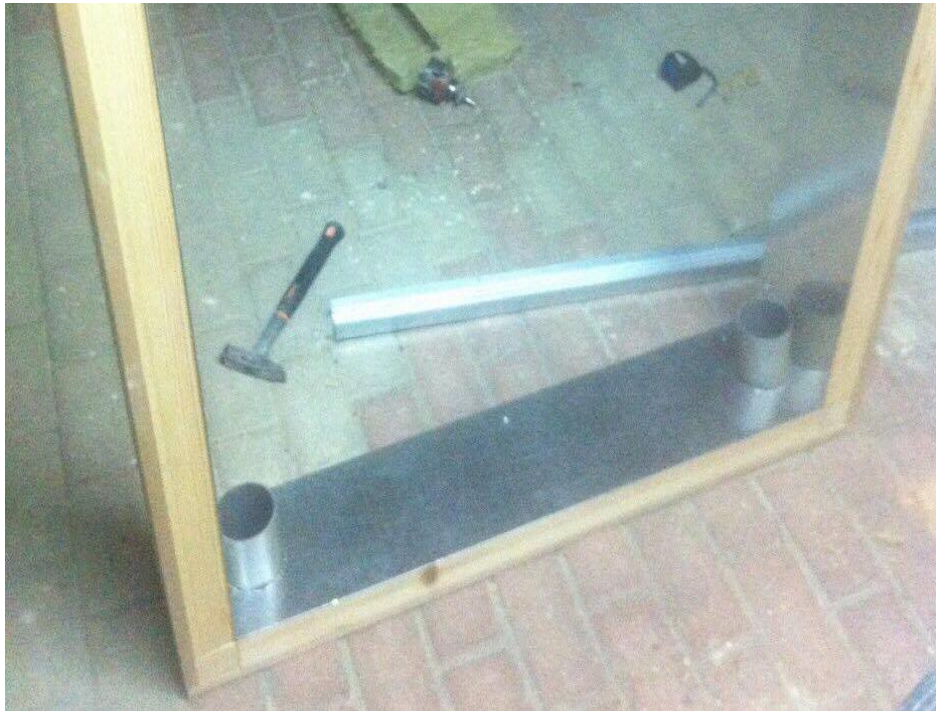
Σχήμα 4- 6: Τοποθέτηση πετροβάμβακα περιμετρικά του πλαισίου



Σχήμα 4- 7: Δημιουργία οπών

#### 4.3.1.3 Τρίτο Στάδιο

Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκαν γαλβανιζέ λαμαρίνες στο εσωτερικό μέρος του πλαισίου, οι οποίες είχαν το ίδιο ύψος με το πλαίσιο (βλ. Σχήμα 4-8).



Σχήμα 4- 8: Ενσωμάτωση λαμαρίνας περιμετρικά του πλαισίου

#### 4.3.1.4 Τέταρτο Στάδιο

Στο 4<sup>ο</sup> στάδιο κατασκευαστικέ ένας σκελετός από μεταλλικά Π (βλ. Σχήμα 4-9), με σκοπό να εμποδίζει τυχόν λυγισμό στην λαμαρίνα που θα τοποθετηθεί στο επόμενο στάδιο. Επιπρόσθετα, λειτουργεί και σαν χώρος όπου τοποθετήθηκε περαιτέρω μόνωση πετροβάμβακα (βλ. Σχήμα 4-10).



Σχήμα 4- 9: Σκελετός από μεταλλικά Π



Σχήμα 4- 10: Τοποθέτηση πετροβάμβακα στο πίσω μέρος του συλλέκτη



#### 4.3.1.5 Πέμπτο Στάδιο

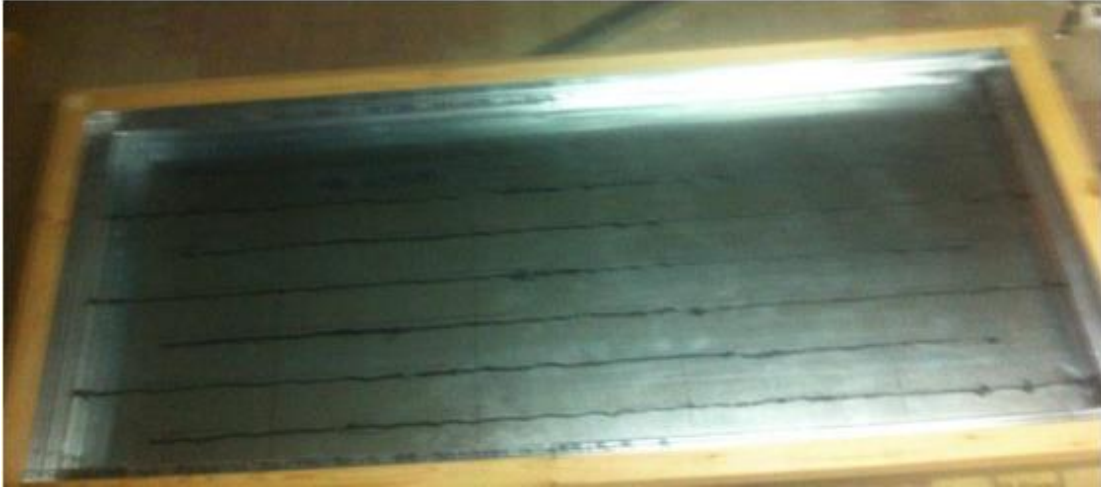
Στο 5<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκε γαλβανιζέ λαμαρίνα πάνω στον μεταλλικό σκελετό από Π που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο. Ακόλουθος, τοποθετήθηκε κοινή σιλικόνη γύρω από τις οπές εισόδου και εξόδου του αέρα με αποτέλεσμα να εμποδίσουμε τις τυχόν απώλειες του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη. Επίσης, κοινή σιλικόνη τοποθετήθηκε και στις γύρο πλευρές για τον ίδιο λόγο που προαναφέρθηκε πιο πάνω (βλ. Σχήμα 4-11).



Σχήμα 4- 11: Τοποθέτηση λαμαρίνας και κοινής σιλικόνης

#### 4.3.1.6 Έκτο Στάδιο

Στο 6<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκε σιλικόνη φωτιάς στο πάνω μέρος της λαμαρίνας, η οποία είναι ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες (βλ. Σχήμα 4-12). Στη συνέχεια σε κάθε στρώση σιλικόνης τοποθετήθηκαν τα μεταλλικά διαχωριστικά τοιχώματα τύπου Π (βλ. Σχήμα 4-13).



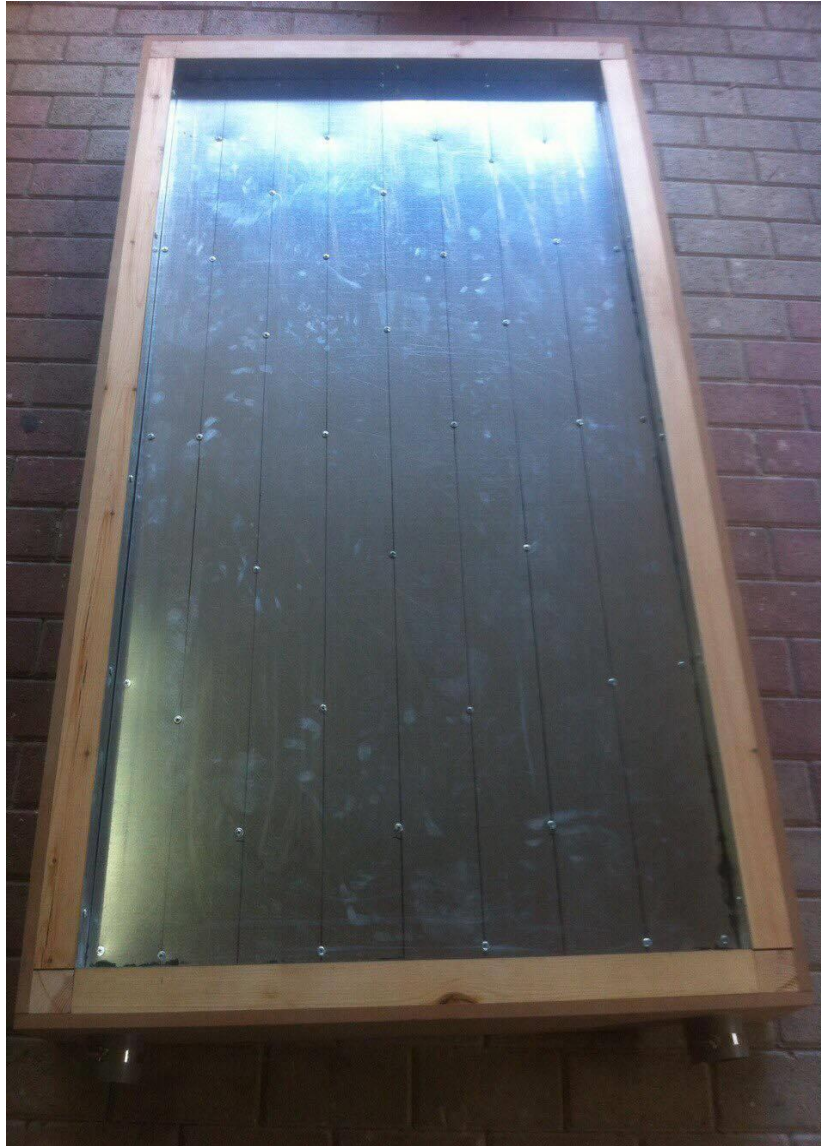
Σχήμα 4- 12: Τοποθέτηση στρώσεων σιλικόνης φωτιάς



Σχήμα 4- 13: Τοποθέτηση διαχωριστικών μεταλλικών τοιχωμάτων τύπου Π

#### 4.3.1.7 Έβδομο Στάδιο

Στο 7<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκαν στρώσεις σιλικόνης φωτιάς στο πάνω μέρος των μεταλλικών διαχωριστικών τοιχωμάτων τύπου Π και στην συνέχεια τοποθετήθηκε η απορροφητική γαλβανιζέ λαμαρίνα, η οποία έχει πάχος 0,6 mm. Επίσης, κοινή σιλικόνη τοποθετήθηκε και στις γύρο πλευρές της απορροφητικής πλάκας για να εμποδίσουμε τις τυχόν απώλεις του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη (βλ. Σχήμα 4-14).



Σχήμα 4- 14: Τοποθέτηση απορροφητικής πλάκας

#### 4.3.1.8 Όγδοο Στάδιο

Στο 8<sup>ο</sup> στάδιο αφού τα βασικά μέρη της κατασκευής έφθασαν στην τελική τους μορφή, αρχικά έγινε μπογιατίσις της απορροφητικής πλάκας με αστάρι (βλ. Σχήμα 4-15) και στην συνέχεια μπογιατίστηκε με μαύρη mad μπογιά (βλ. Σχήμα 4-16), η οποία είναι μη αντανάκλαστική μπογιά με ψηλό δείκτη εκπομπής.



Σχήμα 4- 15: Μπογιατίσις απορροφητικής πλάκας με αστάρι



Σχήμα 4- 16: Μπογιατίσις απορροφητικής πλάκας με μαύρη Mad μπογιά

#### 4.3.19 Ένατο Στάδιο

Στο 9<sup>ο</sup> στάδιο κατασκευαστικέ μια ξύλινη κορνίζα μέσα στην οποία τοποθετήθηκε αυτοκόλλητη ταινία (Foum) (βλ. Σχήμα 4-17) που σκοπό είχε να προστατεύει το γυαλί. Στην συνέχεια, ο συλλέκτης τοποθετήθηκε στον νότιο τοίχο με γωνίες στήριξης και ακολούθως προσαρμόστηκε ο υαλοπίνακας, ο οποίος με τη σειρά του στηριζόταν και αυτός με γωνιές (βλ. Σχήμα 4-18).



Σχήμα 4- 17: Τοποθέτηση αυτοκόλλητης ταινίας (Foum)



Σχήμα 4- 18: Τοποθέτηση υαλοπίνακα

#### **4.3.1.10 Δέκατο Στάδιο**

Στο 10<sup>ο</sup> και τελευταίο στάδιο, αφού ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση και η τοποθέτηση του συλλέκτη στον κατάλληλο προσανατολισμό, προσαρμοστικέ ο ανεμιστήρας στην πάνω αριστερή οπή η οποία λειτουργεί ως είσοδος του αέρα στον συλλέκτη (βλ. Σχήμα 4-19).



**Σχήμα 4- 19: Τοποθέτηση ανεμιστήρα**

### 4.3.2 Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

#### 4.3.2.1 Πρώτο Στάδιο

Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο έγινε η κατασκευή του ξύλινου πλαισίου το οποίο έχει διαστάσεις 1,735 m × 0.94 m και στην συνέχεια ενσωματώθηκαν τα ξύλα στις εξωτερικές του πλευρές (βλ. Σχήμα 4-20).



Σχήμα 4- 20: Κατασκευή ξύλινου πλαισίου

#### 4.3.2.2 Δεύτερο Στάδιο

Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκε μόνωση πετροβάμβακα στα περιμετρικά διάκενα του πλαισίου (βλ. Σχήμα 4-21). Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν δυο οπές στην πάνω πλευρά του πλαισίου (βλ. Σχήμα 4-22), οι οποίες λειτουργούν η μία ως είσοδος και η άλλη ως έξοδος του αέρα.



Σχήμα 4- 21: Τοποθέτηση πετροβάμβακα περιμετρικά του πλαισίου



Σχήμα 4- 22: Δημιουργία οπών



#### 4.3.2.3 Τρίτο Στάδιο

Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκαν γαλβανιζέ λαμαρίνες στο εσωτερικό μέρος του πλαισίου, οι οποίες είχαν το ίδιο ύψος με το πλαίσιο (βλ. Σχήμα 4-23). Στην συνέχεια, κατασκευάστηκε ένας σκελετός από μεταλλικά Π (βλ. Σχήμα 4-25), με σκοπό να εμποδίζει τυχόν λυγισμό στην λαμαρίνα που θα τοποθετηθεί στο επόμενο στάδιο. Επιπρόσθετα, λειτουργεί και σαν χώρος όπου τοποθετήθηκε περεταίρω μόνωση πετροβάμβακα (βλ. Σχήμα 4-24).



Σχήμα 4- 23: Τοποθέτηση γαλβανιζέ λαμαρίνας εσωτερικά του πλαισίου



Σχήμα 4- 25: Σκελετός από μεταλλικά Π



Σχήμα 4- 24: Τοποθέτηση πετροβάμβακα στο πίσω μέρος του συλλέκτη

#### 4.3.2.4 Τέταρτο Στάδιο

Στο 4<sup>ο</sup> στάδιο κατασκευαστικέ η επιθυμητή διαδρομή του αγωγού με τετράγωνα μαύρα μεταλλικά πασαμάνια διαστάσεων 6 cm × 6 cm και πάχος 1,5 mm, τα οποία συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με την μέθοδο οξυγονοκόλλησης CO<sub>2</sub>, με αποτέλεσμα να εμποδίσουμε τις τυχόν απώλειες του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη (βλ. Σχήμα 4-26).



Σχήμα 4- 26: Κατασκευή αγωγού με πασαμάνια

#### 4.3.2.5 Πέμπτο Στάδιο

Στο 5<sup>ο</sup> στάδιο τοποθετήθηκε η απορροφητική γαλβανιζέ λαμαρίνα στο πάνω μέρος των μεταλλικών διαχωριστικών τοιχωμάτων τύπου Π, η οποία έχει πάχος 0,5 mm. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος της λαμαρίνας ο αγωγός με ειδικές γωνιές για να έχει καλή επαφή με την απορροφητική πλάκα (βλ. Σχήμα 4-27).



Σχήμα 4- 27: Τοποθέτηση της απορροφητικής πλάκας και του αγωγού στο συλλέκτη

#### 4.3.2.6 Έκτο Στάδιο

Στο 6<sup>ο</sup> στάδιο αφού τα βασικά μέρη της κατασκευής έφθασαν στην τελική τους μορφή, αρχικά έγινε μπογιατίσις της απορροφητικής πλάκας και του αγωγού με αστάρι και στην συνέχεια μπογιατίστηκε με μαύρη mad μπογιά (βλ. Σχήμα 4-28), η οποία είναι μη αντανακλαστική μπογιά με ψηλό δείκτη εκπομπής. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε αυτόκλλητη ταινία (Foum) (βλ. Σχήμα 4-29) που σκοπό είχε να προστατεύει το γυαλί.



Σχήμα 4- 28: Μπογιατίσις με αστάρι και μαύρη Mad μπογιά της απορροφητικής πλάκας και του αγωγού



Σχήμα 4- 29: Τοποθέτηση αυτοκόλλητης ταινίας (Foum)

#### 4.3.2.7 Έβδομο Στάδιο

Στο 7<sup>ο</sup> στάδιο ο συλλέκτης τοποθετήθηκε στον νότιο τοίχο με γωνιές στήριξης και ακολούθως προσαρμόστηκε ο υαλοπίνακας, ο οποίος με τη σειρά του στηριζόταν και αυτός με μεταλλικές γωνιές (βλ. Σχήμα 4-30).



Σχήμα 4- 30: Τοποθέτηση υαλοπίνακα

#### 4.3.2.8 Όγδοο Στάδιο

Στο 8<sup>ο</sup> και τελευταίο στάδιο, αφού ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση και η τοποθέτηση του συλλέκτη στον κατάλληλο προσανατολισμό, προσαρμόστηκε ο ανεμιστήρας στην πάνω αριστερή οπή η οποία λειτουργεί ως είσοδος του αέρα στον συλλέκτη (βλ. Σχήμα 4-31).



Σχήμα 4- 31: Τοποθέτηση ανεμιστήρα

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

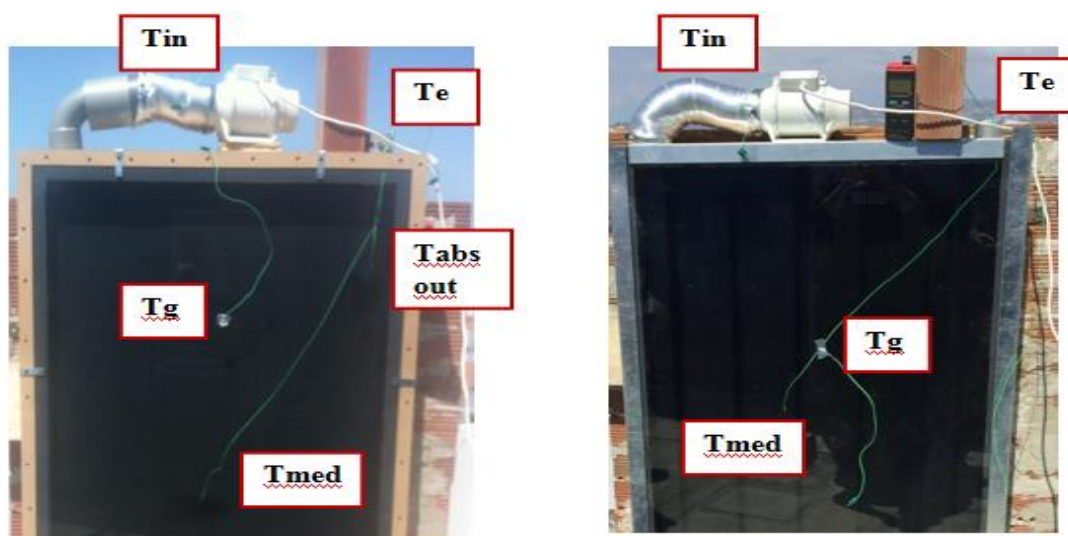
Σ' αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθεί η πειραματική διαδικασία που ακολουθήσαμε για κάθε συλλέκτη ξεχωριστά. Με την ολοκλήρωση του σταδίου της κατασκευής των δύο συλλεκτών τους τοποθετήσαμε στο σωστό προσανατολισμό, δηλαδή στον νότιο τοίχο. Στη συνέχεια, πήραμε τα κατάλληλα όργανα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των διάφορων πειραμάτων. Όλα τα πειράματα που θα ακολουθήσουν πραγματοποιήθηκαν τις ίδιες ώρες και για τους δύο συλλέκτες, έτσι ώστε στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της κάθε κατασκευής.

### 5.1 Όργανα μέτρησης

#### 5.1.1 Θερμοζεύγιοι

Όλα τα θερμοζεύγιοι πριν την εφαρμογή τους ελέγχθηκαν για την βαθμονόμηση τους και την εγκυρότητα τους για τις τιμές που δίνουν. Η βαθμονόμηση τους έγινε ως εξής, αρχικά τοποθετήθηκαν τα καλώδια των θερμοζευγών σε ένα δοχείο μέσα στο οποίο συνυπήρχε κρύο νερό και πάγος. Μετά από το πέρας τριών λεπτών βαθμονομήθηκαν με σημείο αναφοράς τους 0 °C. Στην συνέχεια, τα καλώδια τοποθετήθηκαν σε ένα άλλο δοχείο το οποίο περιείχε ζεστό νερό, όπου η θερμοκρασία του έφτανε το σημείο ζέσεως του. Με αυτό τον τρόπο βαθμονομήθηκαν με ακόμα ένα σημείο αναφοράς τους 100 °C.

Στα αρχικά στάδια των μετρήσεων τοποθετήθηκαν θερμοζεύγιοι σε διάφορα σημεία του κάθε συλλέκτη για να παίρνονται όλες οι μετρήσεις από τα ίδια σημεία για μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα θερμοζεύγιοι έπαιρναν μετρήσεις για: Θερμοκρασία εισόδου του αέρα στον συλλέκτη ( $T_{in}$ ), θερμοκρασία του αέρα στο κέντρο στο εσωτερικό του συλλέκτη ( $T_{med}$ ), του αέρα που εξέρχεται από τον συλλέκτη ( $T_e$ ), θερμοκρασία γυαλιού ( $T_g$ ) και την θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας στην έξοδο ( $T_{abs out}$ ) (βλ. Σχήμα 5-1).

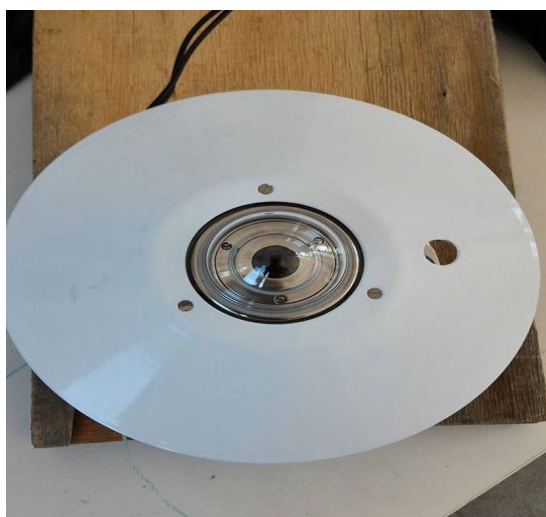


Σχήμα 5- 1: Σημεία λήψης θερμοκρασιών

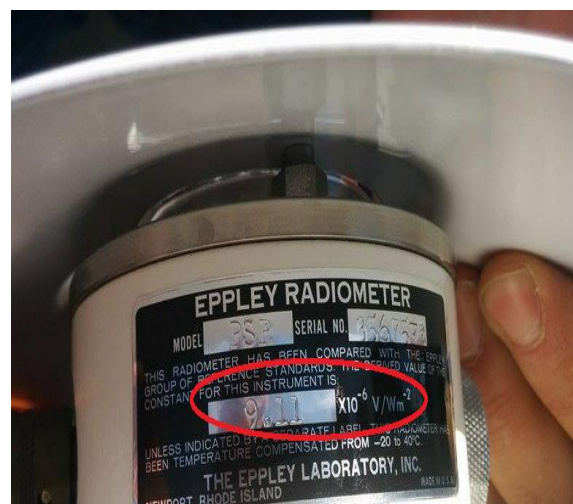
### 5.1.2 Πυρανόμετρο και πολύμετρο

Το πυρανόμετρο (βλ. Σχήμα 5-2) χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για τις διάφορες ώρες και καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Τοποθετήθηκε και στις δύο περιπτώσεις στο ίδιο επίπεδο των δύο συλλεκτών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε πολύμετρο (βλ. Σχήμα 5-4) το οποίο συνδέθηκε με το πυρανόμετρο και μας έδινε ενδείξεις της τάξης σε mV. Το συγκεκριμένο πολύμετρο παρείχε την δυνατότητα για λήψεις μετρήσεων για μέχρι 320mV, με ανάλυση μέχρι και ένα δεκαδικό ψηφίο (0.1mV). Η ακρίβεια του οργάνου είναι της τάξης του  $\pm(0.5\%rdg+2dgt)$  της αναγραφόμενης τιμής. Οι ενδείξεις του πολύμετρου υπολογίζονταν με βάση την σταθερά (βλ. Σχήμα 5-3) που αναγράφεται στο πυρανόμετρο, ούτως ώστε να παίρνουμε ενδείξεις της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μονάδες  $W/m^2$ . Ο υπολογισμός της ακτινοβολίας έγινε ως εξής:

$$G_t = (\text{τιμή του πολύμετρου}) / (9,11 \times 10^{-3})$$



Σχήμα 5- 3: Πυρανόμετρο



Σχήμα 5- 2: Σταθερά Πυρανόμετρου



Σχήμα 5- 4: Πολύμετρο



### 5.1.3 Θερμόμετρο

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στα διάφορα σημεία που τοποθετήθηκαν τα θερμοζεύγη σε κάθε συλλέκτη, χρησιμοποιήθηκε το θερμόμετρο TECPELDTM-318 (βλ. Σχήμα 5-5). Το συγκεκριμένο θερμόμετρο παρέχει την δυνατότητα για λήψεις μετρήσεων εύρους από  $-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1370\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-328\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 2498\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) με ταυτόχρονη λήψη δυο μετρήσεων T1 και T2, με ανάλυση μέχρι και ένα δεκαδικό ψηφίο. Η ακρίβεια του οργάνου είναι της τάξης του  $\pm(0.5\% + 1\text{ }^{\circ}\text{C})$ .



Σχήμα 5- 5: Θερμόμετρο TECPELDTM-318

### 5.1.4 Θερμοκάμερα

Η εξακρίβωση της θερμοκρασιακής κατανομής του ηλιακού συλλέκτη αέρα, έγινε με την χρήση της θερμοκάμερας FLIR B335 (βλ. Σχήμα 5-6). Η θερμοκάμερα έχει IR ανάλυση 320 x 240 pixels, 5 mk θερμική ευαισθησία και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή 3,1 Μρ με φώτα Led.



Σχήμα 5- 6: Θερμοκάμερα FLIR B335

### 5.1.5 Ανεμόμετρο

Για την μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του κάθε συλλέκτη χρησιμοποιήθηκε το ανεμόμετρο L.M -8000 (βλ. Σχήμα 5-7), το οποίο τοποθετήθηκε στην οπή εξόδου του θερμού αέρα.



Σχήμα 5- 7: Ανεμόμετρο L.M -8000

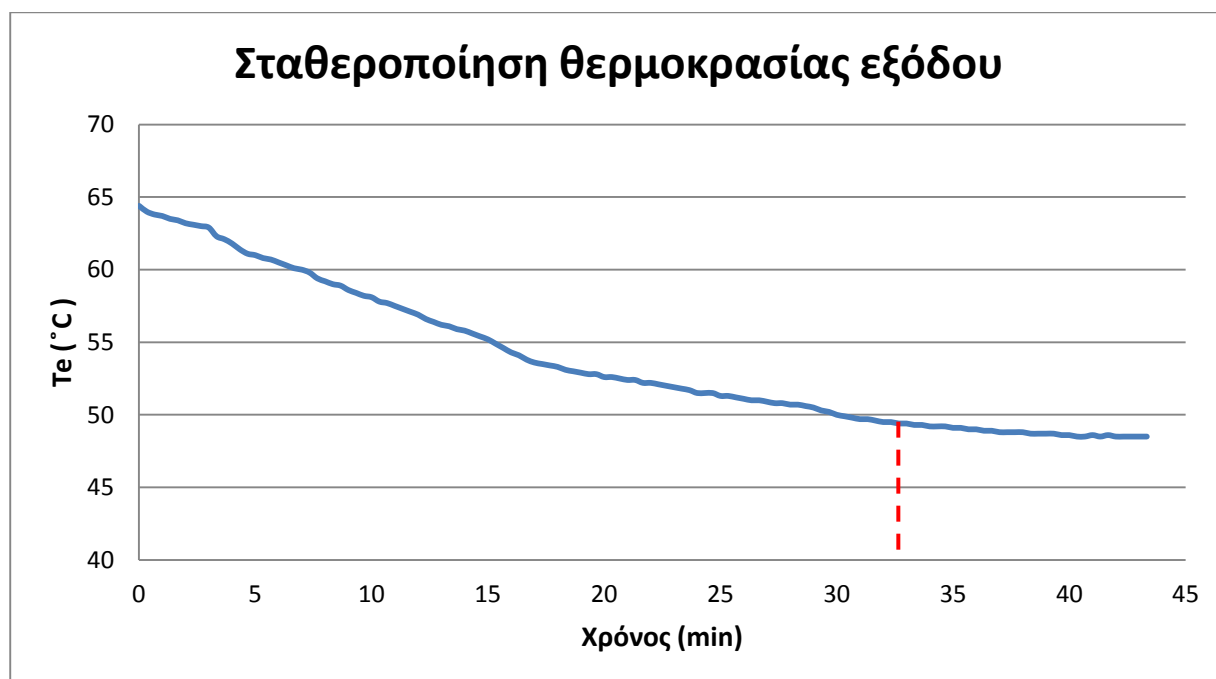
## 5.2 Πειραματική διαδικασία

### 5.2.1 Χρόνος σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου των συλλεκτών

Στο πρώτο πείραμα που διεξήχθη, αρχικά ο ανεμιστήρας τέθηκε σε λειτουργία και καταμετρήθηκε ο χρόνος που χρειάζονται οι δύο συλλέκτες για την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εξόδου τους. Μέσα στους δύο συλλέκτες προϋπήρχε ενέργεια λόγω της θερμοχωρητικότητας των υλικών των συλλεκτών, οι οποίοι ήταν εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία. Η καταγραφή των θερμοκρασιών πραγματοποιήθηκε ανά 20 δευτερόλεπτα για διάστημα χρόνου 45 λεπτών. Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας εξόδου με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-8 και 5-9 αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται σχετικά απότομη πτώση της θερμοκρασίας εξόδου και με το πέρας του χρόνου η πτώση συνεχίζεται με χαμηλό ρυθμό μέχρι που σταθεροποιείται. Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εξόδου είναι λογική αφού οι συλλέκτες αποβάλλουν την εσωτερική ενέργεια που εμπεριείχαν.

#### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

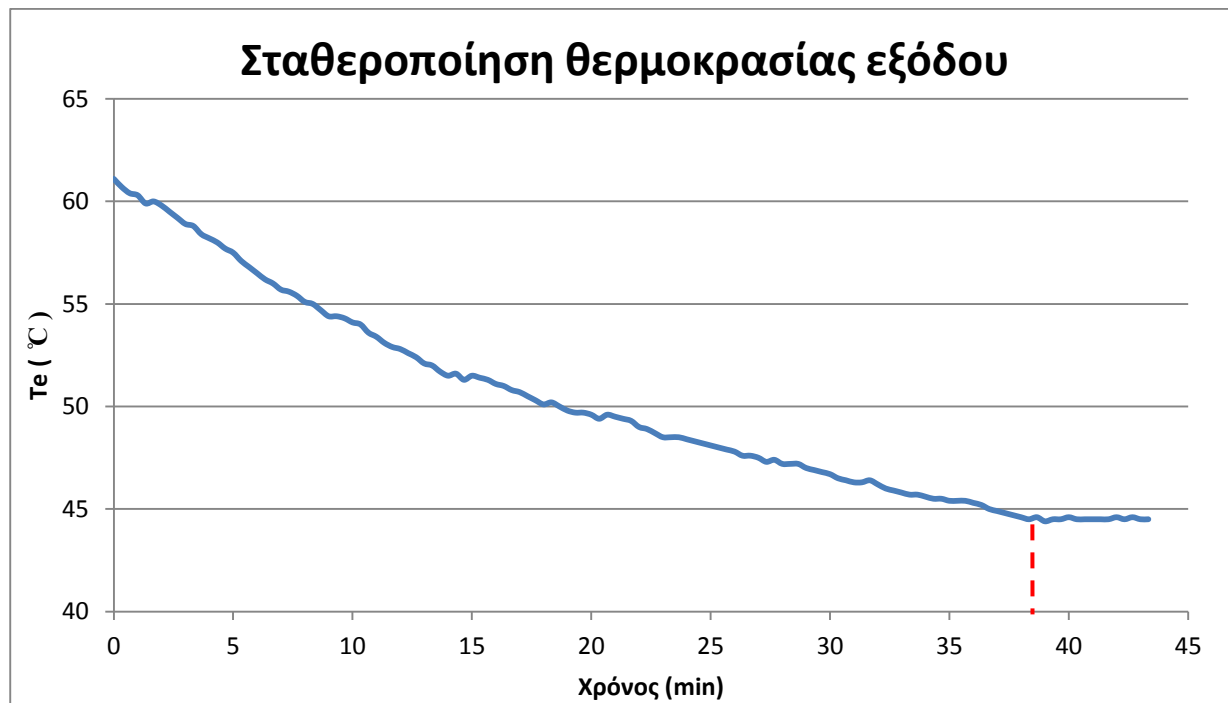
Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 14:00 στις 04/04/2016 με ηλιακή ακτινοβολία  $505 \text{ W/m}^2$ . Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η θερμοκρασία εξόδου η ώρα 14:00 ήταν  $64,4 \text{ }^\circ\text{C}$  και μετά από 33 min σταθεροποιήθηκε στους  $48,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Σχήμα 5- 8: Γραφική παράσταση σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

### Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 14:00 στις 29/03/2016 με ηλιακή ακτινοβολία  $538 \text{ W/m}^2$ . Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η θερμοκρασία εξόδου η ώρα 14:00 ήταν  $61,1 \text{ }^\circ\text{C}$  και μετά από 38 min σταθεροποιήθηκε στους  $44,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Σχήμα 5- 9:Γραφική παράσταση σταθεροποίησης θερμοκρασίας εξόδου συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

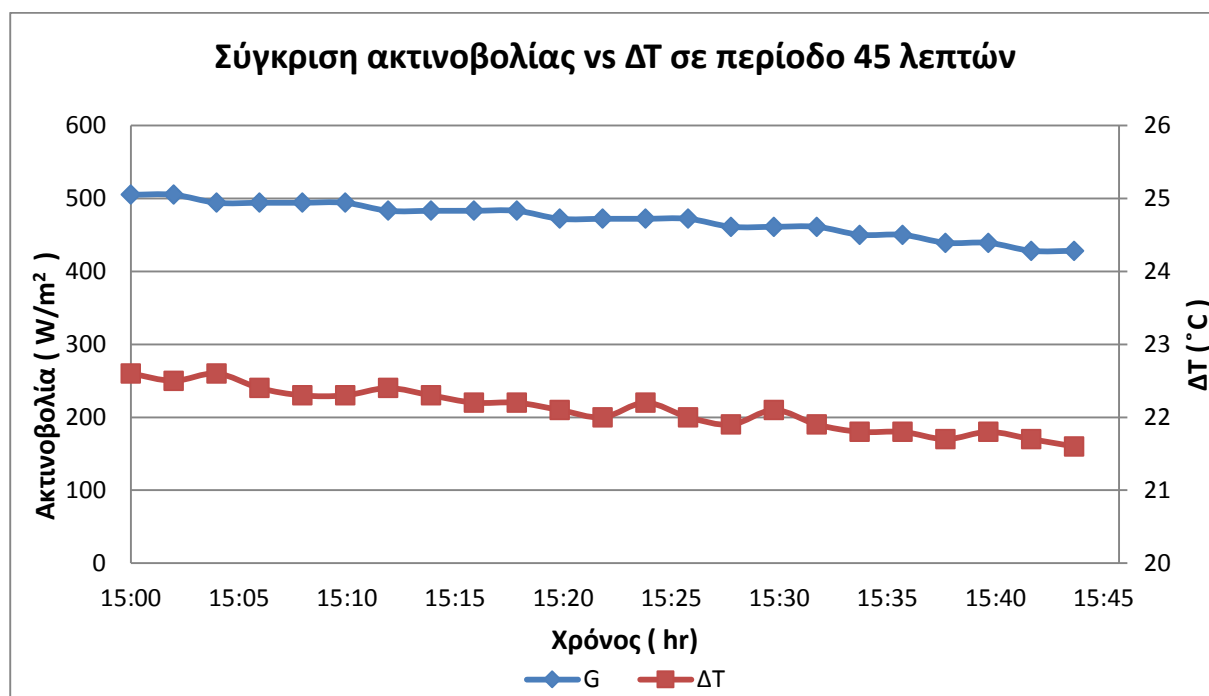
Με την δημιουργία των πιο πάνω γραφικών παραστάσεων παρατηρούμε ότι ο συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π), χρειάζεται λιγότερο χρόνο σταθεροποίησης της θερμοκρασίας εξόδου από τον συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα). Το φαινόμενο αυτό, παρατηρείται για τον λόγο ότι το πάχος του αγωγού του ενός συλλέκτη (τύπου Π) είναι  $0,6 \text{ mm}$  ενώ του άλλου συλλέκτη (πασαμάννα) είναι  $1,5 \text{ mm}$ .

## 5.2.2 Σύγκριση ακτινοβολίας με την διαφορά θερμοκρασίας η ώρα 15:00

Στο δεύτερο πείραμα που διεξήχθη, αναμέναμε την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα των δύο συλλεκτών και στη συνέχεια καταγράψαμε την διαφορά θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας ανά 2 λεπτά για διάστημα χρόνου 45 λεπτών. Ακολούθως, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της διαφοράς θερμοκρασίας και ακτινοβολίας σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-10 και 5-11 αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται πτώση της διαφοράς θερμοκρασίας και παράλληλα πτώση της ακτινοβολίας. Η πτώση των δύο παραμέτρων ήταν αναμενόμενη για το λόγο ότι η διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος άρχισε η ώρα 15:00 το απόγευμα όπου με το πέρασμα του χρόνου ο ήλιος αρχίζει και δύει.

### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

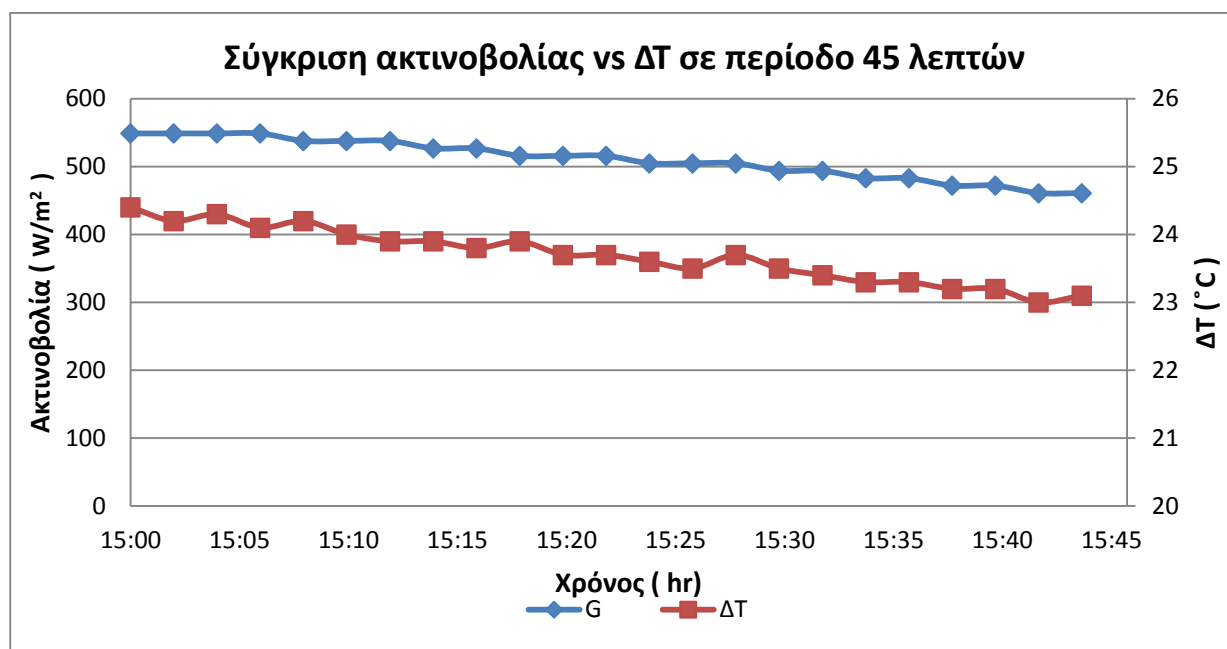
Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 15:00 στις 04/04/2016. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η διαφορά θερμοκρασίας και η ηλιακή ακτινοβολία η ώρα 15:00 ήταν 22,6 °C και 505 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Μετά από 45 min οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν 21,6 °C και 428 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα.



Σχήμα 5- 10: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II) η ώρα 15:00

### Συλλέκτης με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα)

Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 15:00 στις 29/03/2016. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η διαφορά θερμοκρασίας και η ηλιακή ακτινοβολία η ώρα 15:00 ήταν 24,4 °C και 549 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Μετά από 45 min οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν 23,1 °C και 461 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα.



Σχήμα 5- 11: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάνα) η ώρα 15:00

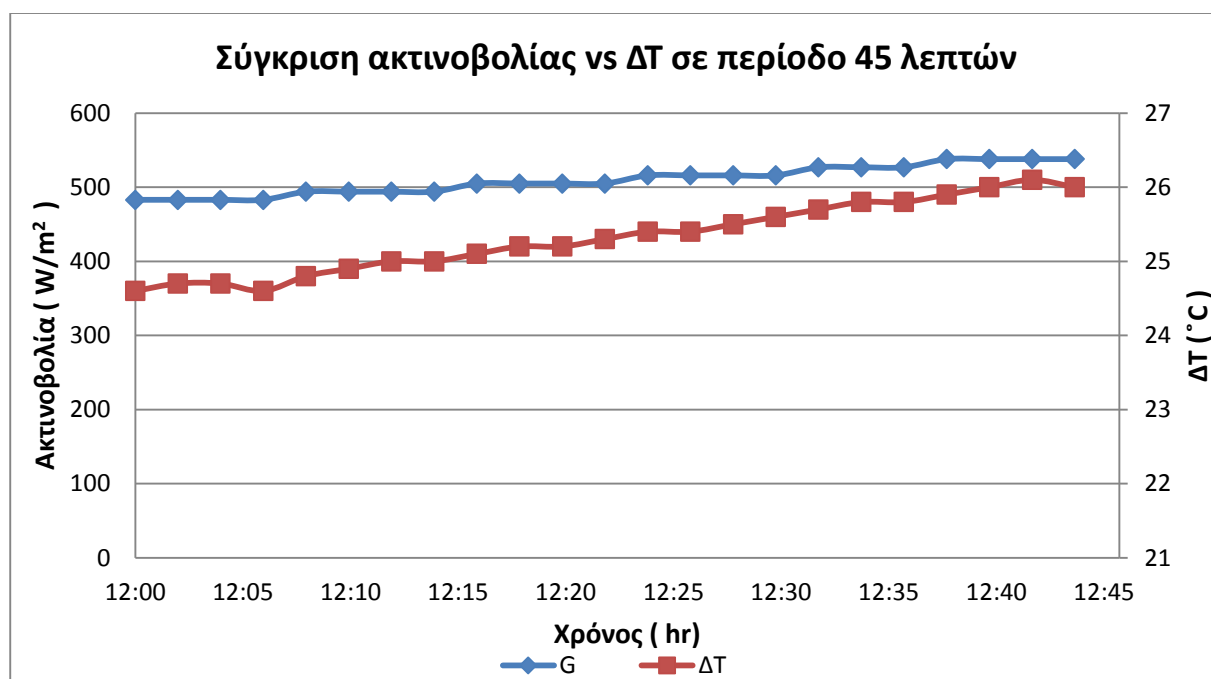
Με την δημιουργία των πιο πάνω γραφικών παραστάσεων παρατηρούμε ότι και στους δύο συλλέκτες όσο μειώνεται η ακτινοβολία έχουμε αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας.

### 5.2.3 Σύγκριση ακτινοβολίας με την διαφορά θερμοκρασίας η ώρα 12:00

Στο τρίτο πείραμα που διεξήχθη, αναμέναμε και πάλι την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα των δύο συλλεκτών και στη συνέχεια καταγράψαμε την διαφορά θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας ανά 2 λεπτά για διάστημα χρόνου 45 λεπτών. Ακολούθως, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της διαφοράς θερμοκρασίας και ακτινοβολίας σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-12 και 5-13 αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις, σε αντίθεση με το προηγούμενο πείραμα, παρατηρείται σταδιακή αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας καθώς επίσης και της ακτινοβολίας. Η αύξηση των δύο παραμέτρων ήταν αναμενόμενη για το λόγο ότι η διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος άρχισε η ώρα 12:00 το μεσημέρι όπου ο ήλιος ήταν πιο κάθετος προς στους συλλέκτες.

#### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

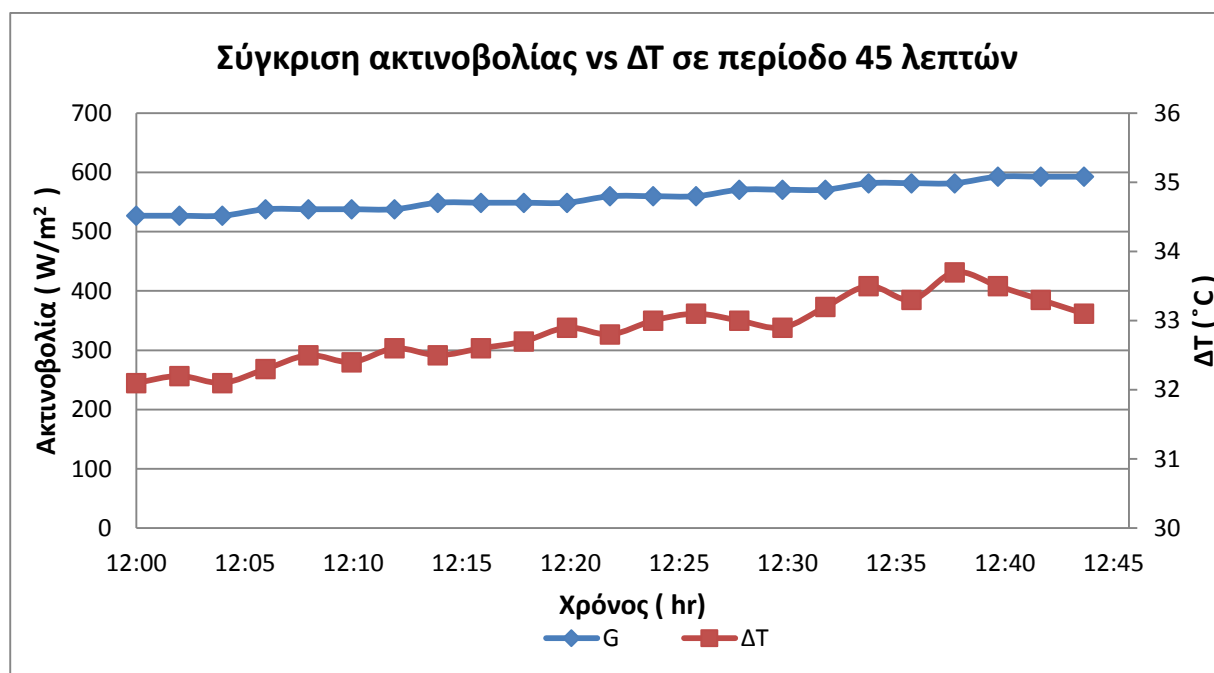
Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 12:00 στις 05/04/2016. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η διαφορά θερμοκρασίας και η ηλιακή ακτινοβολία η ώρα 12:00 ήταν 24,6 °C και 483 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Μετά από 45 min οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν 26 °C και 538 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα.



Σχήμα 5- 12: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π) η ώρα 12:00

### Συλλέκτης με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 12:00 στις 30/03/2016. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η διαφορά θερμοκρασίας και η ηλιακή ακτινοβολία η ώρα 12:00 ήταν 32,1 °C και 527 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Μετά από 45 min οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν 33,1 °C και 593 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα.



Σχήμα 5- 13: Γραφική παράσταση ακτινοβολίας - διαφοράς θερμοκρασίας συλλέκτη με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα) η ώρα 12:00

Με την δημιουργία των πιο πάνω γραφικών παραστάσεων παρατηρούμε ότι και στους δύο συλλέκτες όσο αυξάνεται η ακτινοβολία έχουμε μείωση της γωνίας πρόσπτωσης με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας.



#### 5.2.4 Χρόνος ψύξης και θέρμανσης

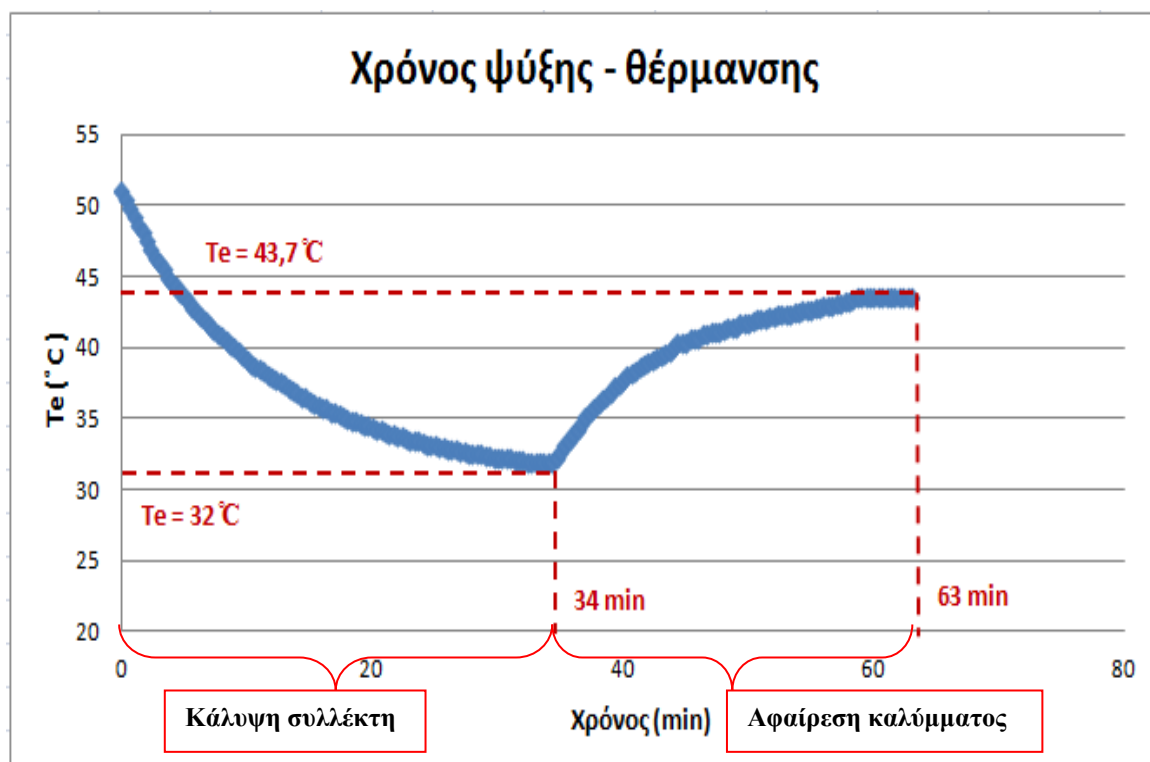
Στο τέταρτο πείραμα που διεξήχθη, αναμέναμε και πάλι την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας. Στην συνέχεια, καθώς λειτουργούσαν οι συλλέκτες σκεπάστηκαν με ένα χαρτόνι όπως φαίνονται στο σχήμα 5-14 και καταγράψαμε την θερμοκρασία εξόδου του αέρα ανά 20 δευτερόλεπτα μέχρι να σταθεροποιηθεί. Μόλις σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία, αφαιρέσαμε το χαρτόνι και αφήσαμε εκτεθειμένους τους συλλέκτες στην ηλιακή ακτινοβολία μέχρι να επανέρθουν στα αρχικά τους στάδια. Ακολούθως, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας εξόδου σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-15 και 5-16. Μέσα από τις γραφικές που δημιουργήθηκαν, υπολογίστηκε ο χρόνος ψύξης και θέρμανσης του κάθε συλλέκτη. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του κάθε συλλέκτη όταν ξαφνικά η ηλιακή ακτινοβολία αυξανόταν ή μειωνόταν στο μηδέν.



Σχήμα 5- 14: Σκίαση των συλλεκτών με χαρτόνι

## Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

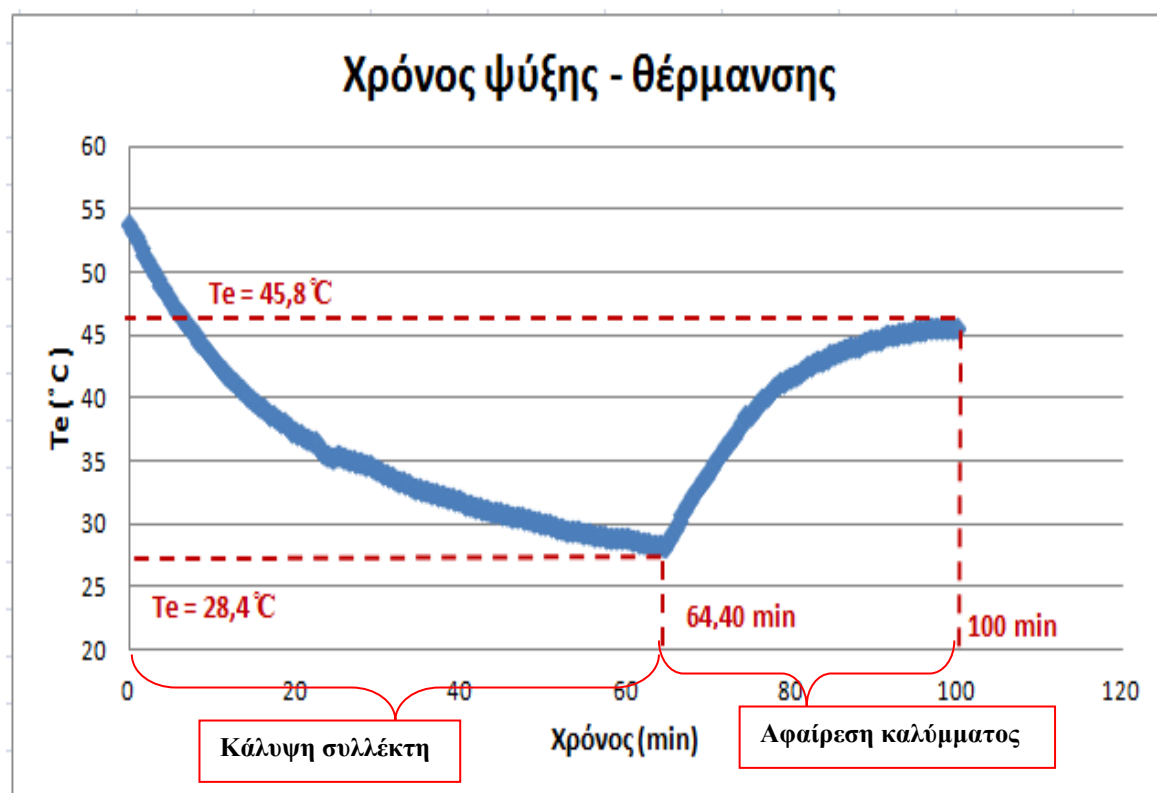
Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 14:30 στις 06/04/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου στους 51,1 °C. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, ο χρόνος ψύξης του συλλέκτη ήταν 34 λεπτά με θερμοκρασία εξόδου 32 °C. Επίσης, ο χρόνος επαναφοράς του συλλέκτη στα αρχικά του στάδια ήταν 29 λεπτά με θερμοκρασία εξόδου 43,7 °C. Ο λόγος που η αρχική και η τελική τιμή της θερμοκρασίας εξόδου ήταν διαφορετική ήταν γιατί με το πέρασ του χρόνου η ακτινοβολία μειωνόταν.



Σχήμα 5- 15: Γραφική παράσταση χρόνου ψύξης - θέρμανσης συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

### Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις καταγράφηκαν η ώρα 14:30 στις 31/03/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου στους 53,9 °C. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, ο χρόνος ψύξης του συλλέκτη ήταν 64,40 λεπτά με θερμοκρασία εξόδου 28,4 °C. Επίσης, ο χρόνος επαναφοράς του συλλέκτη στα αρχικά του στάδια ήταν 35,60 λεπτά με θερμοκρασία εξόδου 45,8 °C. Ο λόγος που η αρχική και η τελική τιμή της θερμοκρασίας εξόδου ήταν διαφορετική ήταν γιατί με το πέρας του χρόνου η ακτινοβολία μειωνόταν.



Σχήμα 5- 16: Γραφική παράσταση χρόνου ψύξης - θέρμανσης συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

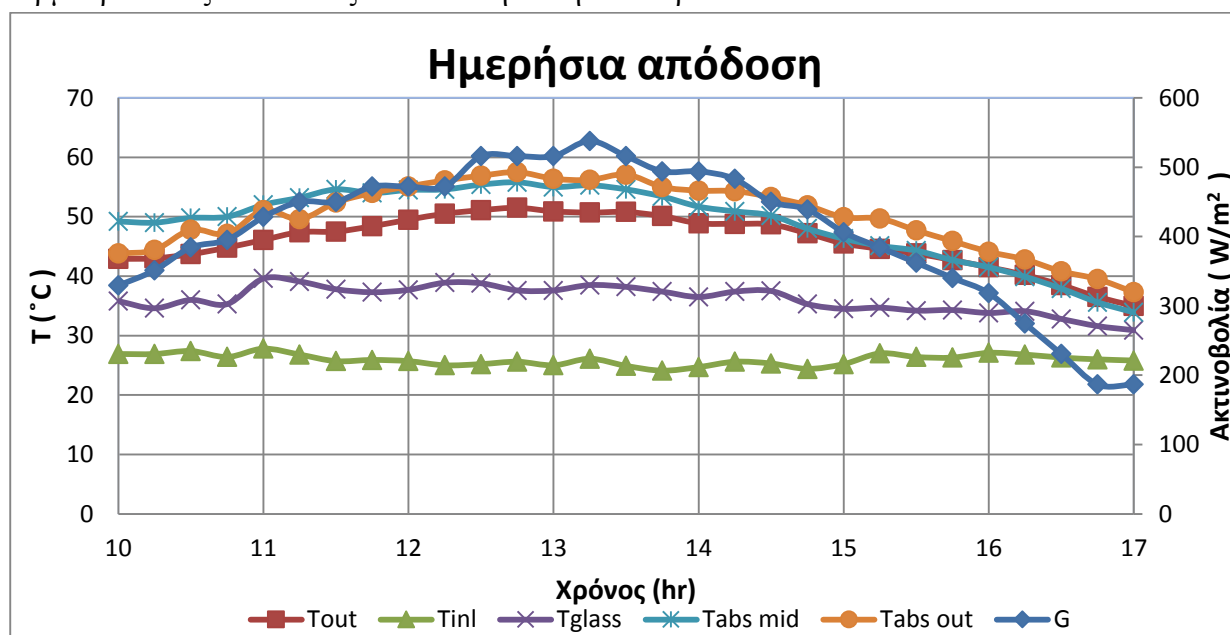
Με την δημιουργία των πιο πάνω γραφικών παραστάσεων παρατηρούμε ότι ο συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π), χρειάζεται λιγότερο χρόνο ψύξης και επαναφορά σε θέρμανση της θερμοκρασίας εξόδου από τον συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα). Στην περίπτωση του συλλέκτη με πασαμάννα, παρατηρούμε ότι ο χρόνος που χρειάζεται για ψύξη (63 min) είναι όσος χρειάζεται ο συλλέκτης τύπου Π για την επαναφορά σε θέρμανση της θερμοκρασίας εξόδου (64 min). Το φαινόμενο αυτό, παρατηρείται για τον ίδιο λόγο που αναφέρθηκε στο πρώτο πείραμα δηλαδή, το μικρότερο πάχος απορρόφησης και της λιγότερης ενέργειας βρασμού ή ψύξης της μάζας του μετάλλου αυτού.

### 5.2.5 Ημερήσια απόδοση

Στο πέμπτο πείραμα που διεξήχθη, αναμέναμε και πάλι την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εξόδου, πριν να αρχίσουν οι μετρήσεις. Μόλις σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία εξόδου, γινόταν καταγραφή όλων των θερμοκρασιών κάθε συλλέκτη ανά 15 λεπτά. Η καταγραφή των θερμοκρασιών άρχισε η ώρα 10:00 το πρωί και τελείωσε η ώρα 17:00 το απόγευμα, δηλαδή η όλη διαδικασία διήρκησε 7 ώρες. Ακολούθως, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση όλων των θερμοκρασιών και της ακτινοβολίας σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-17 και 5-18. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του κάθε συλλέκτη από το πρωί μέχρι το απόγευμα.

#### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

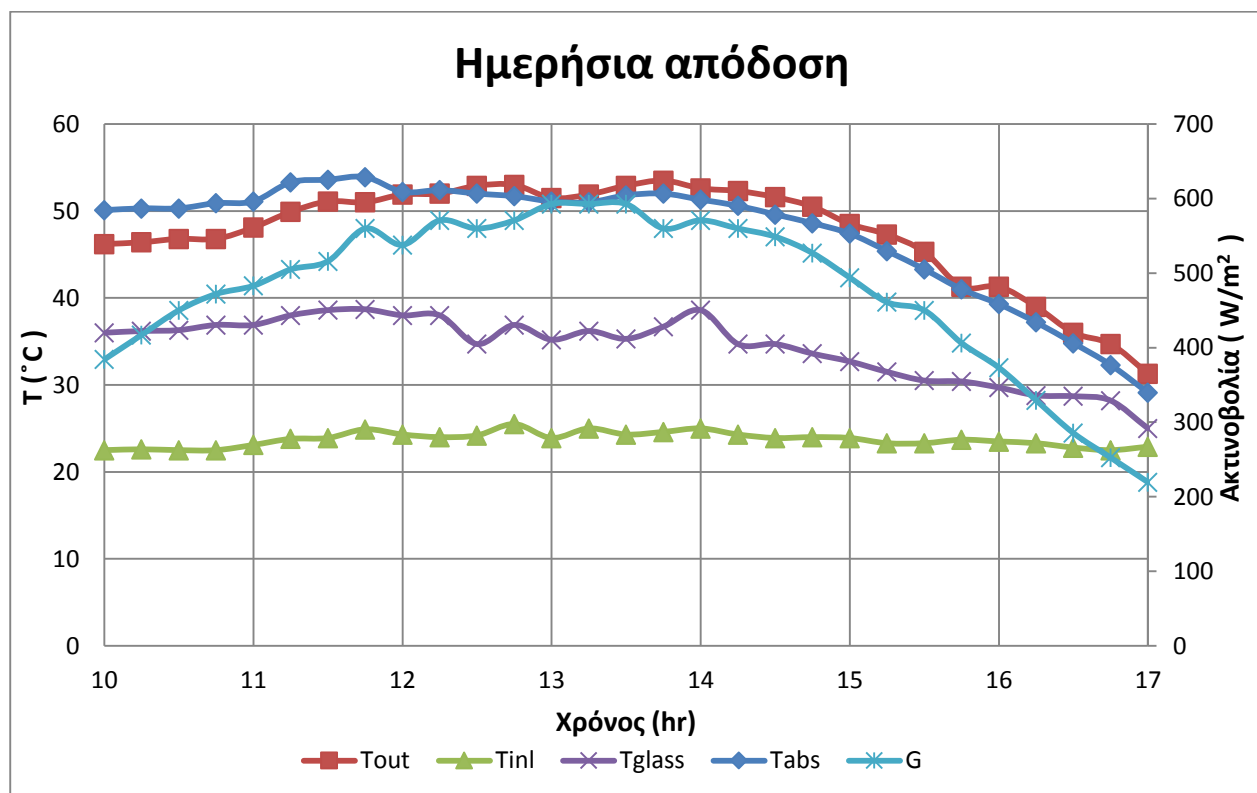
Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 10:00 το πρωί στις 07/04/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου και ηλιακή ακτινοβολία στους 42,9 °C και 329 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η θερμοκρασία εισόδου και γυαλιού ήταν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος, ενώ οι υπόλοιπες θερμοκρασίες βλέπουμε να αυξάνονται με αύξηση της ακτινοβολίας και να μειώνονται με την πτώση της, με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 538 W/m<sup>2</sup> η ώρα 13:00 το μεσημέρι. Επίσης, παρατηρούμε ότι από της 10:00 – 11:30 η θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας στην έξοδο ήταν μικρότερη από εκείνη στο κέντρο για τον λόγο ότι το θερμοζεύγος που ήταν τοποθετημένο στην τελευταία διαδρομή σκιαζόταν ενώ από της 11:30 και μετά η θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας στην έξοδο ήταν μεγαλύτερη από εκείνη στο κέντρο, πράγμα που το διαπιστώνουμε και από το θερμογράφημα του σχήματος 5-24. Η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 17:00 με θερμοκρασία εξόδου στους 35 °C και ηλιακή ακτινοβολία 187 W/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5- 17: Γραφική παράσταση ολόημερων μετρήσεων συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

### Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 10:00 το πρωί στις 01/04/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου και ηλιακή ακτινοβολία στους 46,2 °C και 384 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η θερμοκρασία εισόδου και γυαλιού ήταν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος, ενώ οι υπόλοιπες θερμοκρασίες βλέπουμε να αυξάνονται με αύξηση της ακτινοβολίας και να μειώνονται με την πτώση της, με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 593 W/m<sup>2</sup> η ώρα 13:30 το μεσημέρι. Επίσης, παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας ήταν μικρότερη από εκείνη της εξόδου του αέρα για τον λόγο ότι, η θερμοκρασία που καταγράφαμε βρισκόταν στη τρίτη διαδρομή του αγωγού και όσο αυξάνονταν οι διαδρομές αυξανόταν και η θερμοκρασία της, πράγμα που το διαπιστώνουμε και από το θερμογράφημα του σχήματος 5-25. Η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 17:00 με θερμοκρασία εξόδου στους 31,3 °C και ηλιακή ακτινοβολία 220 W/m<sup>2</sup>.



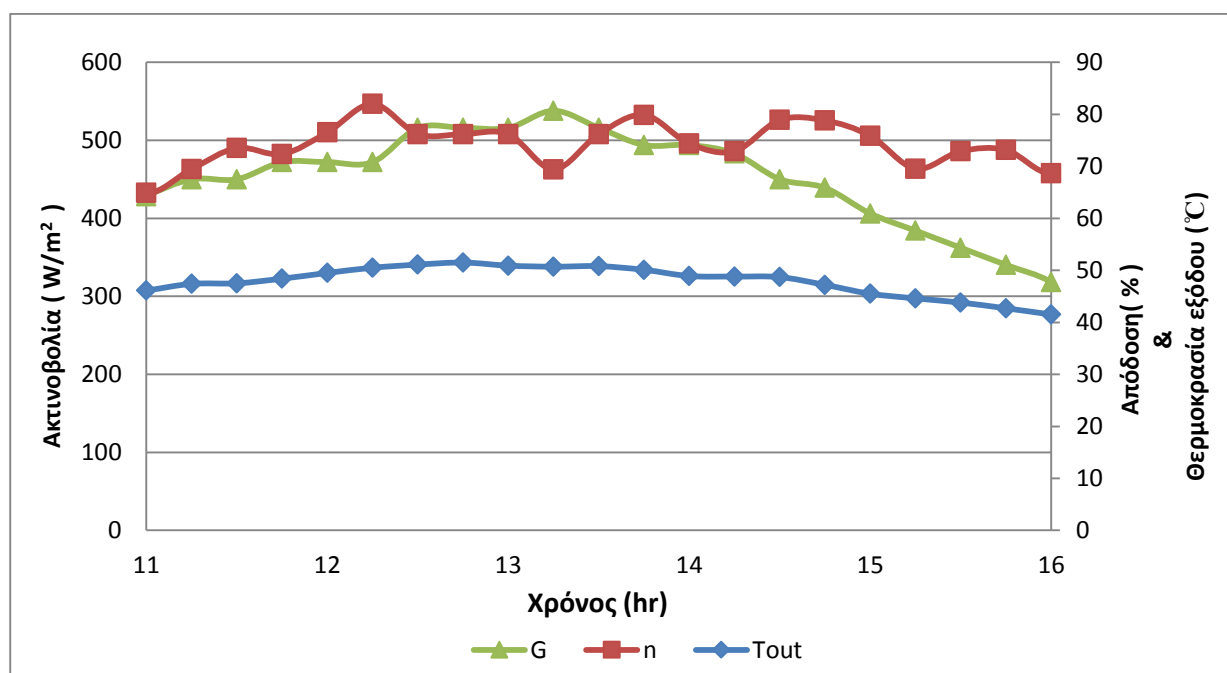
Σχήμα 5- 18: Γραφική παράσταση ολοήμερων μετρήσεων συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

## 5.2.6 Ανάλυση απόδοσης συλλεκτών

Στο έκτο πείραμα που διεξήχθη, μόλις σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία εξόδου, καταγράψαμε τη θερμοκρασία εξόδου και την ηλιακή ακτινοβολία του κάθε συλλέκτη ανά 15 λεπτά. Η καταγραφή των δεδομένων άρχισε η ώρα 11:00 το πρωί και τελείωσε η ώρα 16:00 το απόγευμα, δηλαδή η όλη διαδικασία διήρκησε 5 ώρες. Ακολούθως, με τα δεδομένα που πάρθηκαν υπολογίστηκε η απόδοση που αντιπροσωπεύει κάθε συλλέκτη, κάνοντας χρήση του τύπου  $\eta = [(m \times C_p \times \Delta T) / (G \times A)] = [(m \times C_p \times (T_e - T_i)) / (G \times A)]$ . Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας εξόδου, της απόδοσης και της ακτινοβολίας σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-19 και 5-20. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να δούμε πως επηρεάζεται η απόδοση κάθε συλλέκτη με τις εναλλαγές της θερμοκρασίας εξόδου και της ακτινοβολίας.

### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

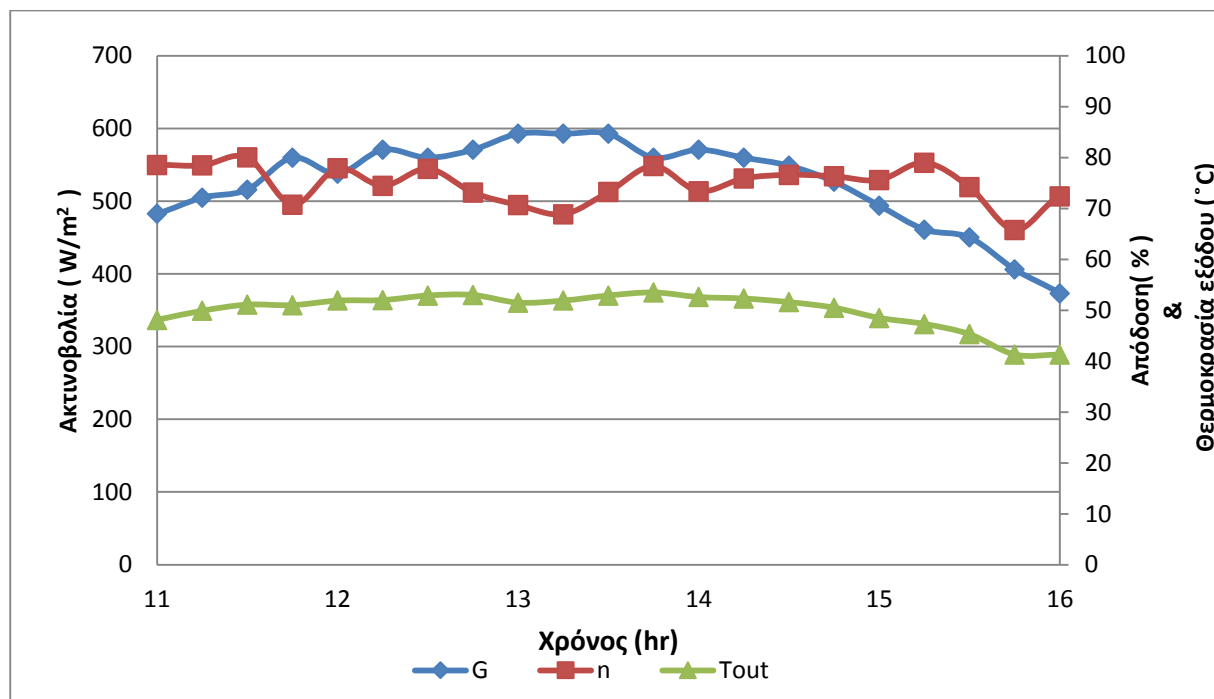
Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 11:00 στις 08/04/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου 46,1 °C και ηλιακή ακτινοβολία 428 W/m<sup>2</sup>, υπολογίστηκε η απόδοση 64,8%. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 16:00 με θερμοκρασία εξόδου 41,5 °C και ηλιακή ακτινοβολία 318 W/m<sup>2</sup>, έχοντας απόδοση 68,7%.



Σχήμα 5- 19: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

### Συλλέκτης με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 11:00 στις 02/04/2016 με αρχική θερμοκρασία εξόδου 48,1 °C και ηλιακή ακτινοβολία 483 W/m<sup>2</sup>, υπολογίστηκε η απόδοση 78,6%. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 16:00 με θερμοκρασία εξόδου 41,3 °C και ηλιακή ακτινοβολία 373 W/m<sup>2</sup>, έχοντας απόδοση 72,4%.

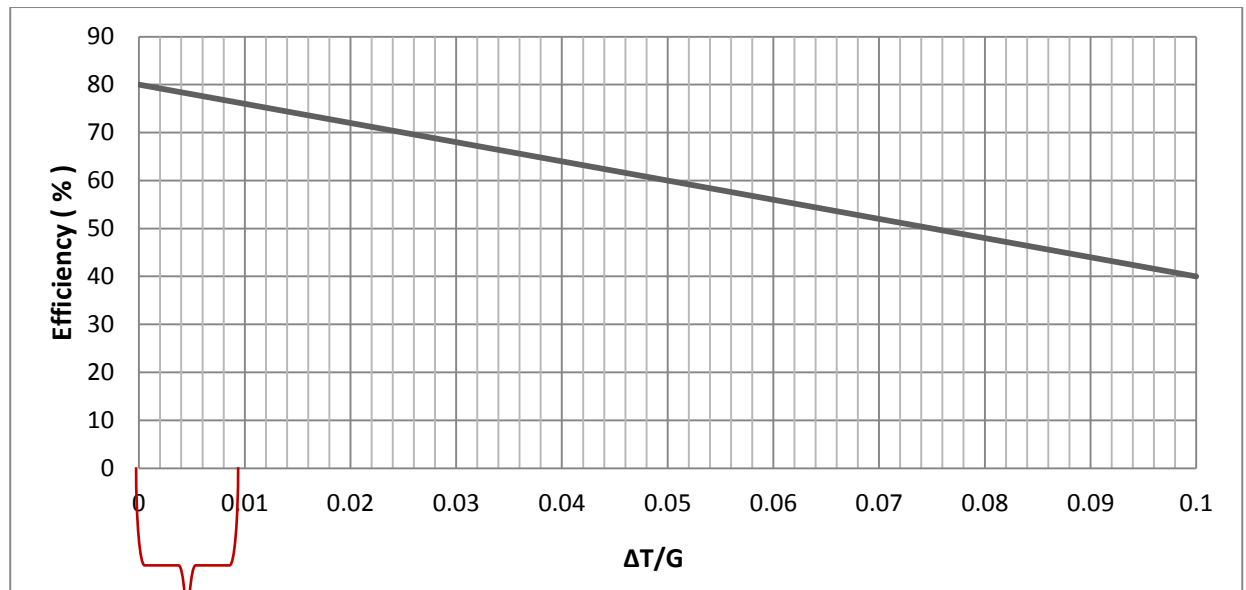


Σχήμα 5- 20: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη με τετράγωνα αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Με την δημιουργία των γραφικών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η απόδοση δεν κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών γιατί εξαρτάται ταυτόχρονα από την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και την ακτινοβολία ( $G$ ), το οποίο φαίνεται και από την εξίσωση της απόδοσης.

Συγκρίνοντας τις γραφικές παραστάσεις που δημιουργήθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου πειράματος με τη γραφική παράσταση ενός ηλιακού συλλέκτη νερού (βλ. Σχήμα 5-21), παρατηρείται ότι στην προκειμένη περίπτωση οι τιμές που παίρνει το  $\Delta T/ G$  είναι τις τάξεως  $10^{-3}$  λόγω του ότι η θερμοκρασία εισόδου είναι πάρα πολύ κοντά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τέλος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο λόγος που έχουμε μικρές εναλλαγές της απόδοσης είναι γιατί τα συστήματα αέρα λειτουργούν μεταξύ των τιμών  $0 - 0,01$  του  $\Delta T/ G$  των ηλιακών συστημάτων νερού. Αυτό είναι ένα σχετικό πλεονέκτημα διότι ο συλλέκτης εργάζεται στην περιοχή της μεγαλύτερης απόδοσης του, όπου οι θερμικές απώλειες είναι μειωμένες.



Σχήμα 5- 21: Γραφική παράσταση απόδοσης συλλέκτη νερού

**Εύρος τιμών λειτουργίας  
συστημάτων αέρα**

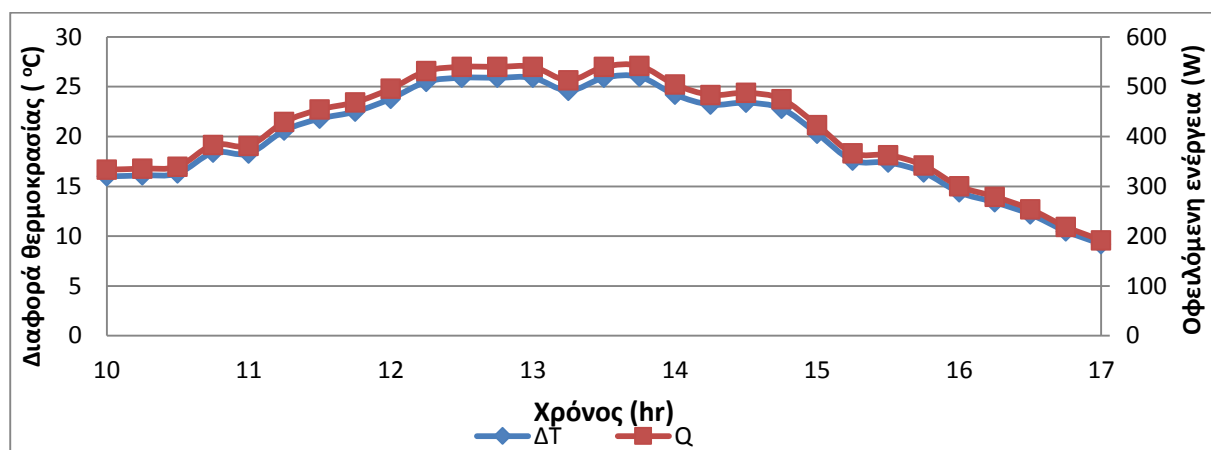
### 5.2.7 Ανάλυση ωφέλιμης ενέργειας συλλεκτών

Στο έβδομο και τελευταίο πείραμα που διεξήχθη, μόλις σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία εξόδου, καταγράψαμε τη διαφορά θερμοκρασίας του κάθε συλλέκτη ανά 15 λεπτά. Κατά την χρονική περίοδο των 15 λεπτών δεν έχουμε μεγάλη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, κάτι το οποίο φαίνεται και από τις τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να θεωρούσαμε την τιμή της ακτινοβολίας σταθερή. Η καταγραφή των δεδομένων άρχισε η ώρα 10:00 το πρωί και τελείωσε η ώρα 17:00 το απόγευμα, δηλαδή η όλη διαδικασία διήρκεσε 7 ώρες. Ακολούθως, με τα δεδομένα που πάρθηκαν υπολογίστηκε η ωφέλιμη ενέργεια που αντιπροσωπεύει κάθε συλλέκτη, κάνοντας χρήση του τύπου  $Q = [\dot{m} \times C_p \times \Delta T]$ . Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της διαφοράς θερμοκρασίας και της ωφέλιμης ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κάθε συλλέκτη όπως φαίνονται στα διαγράμματα 5-22 και 5-23. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να δούμε πως επηρεάζεται η ωφέλιμη ενέργεια κάθε συλλέκτη με τις εναλλαγές της διαφοράς θερμοκρασίας.



### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

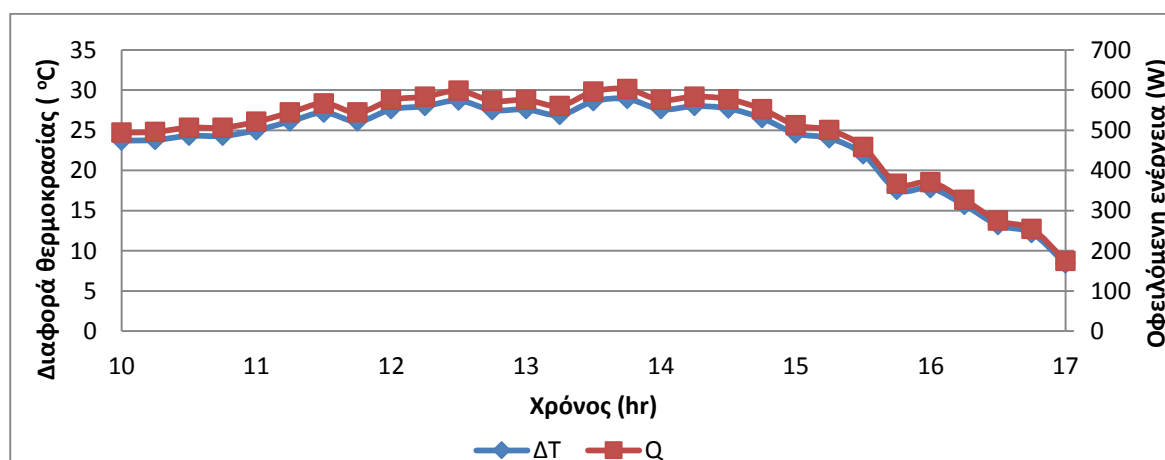
Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 10:00 στις 09/04/2016 με αρχική διαφορά θερμοκρασίας 16 °C και υπολογίστηκε η ωφέλιμη ενέργεια 333,52 W. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 17:00 με διαφορά θερμοκρασίας 9,2 °C έχοντας ωφέλιμη ενέργεια 191,77 W. Μέσα από τις μετρήσεις που πάρθηκαν υπολογίστηκε η ημερήσια ενέργεια που λαμβάνουμε για διάρκεια 7 ωρών στα 303881,1 KJ.



Σχήμα 5- 22: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

### Συλλέκτης με τετράγονους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν να καταγράφονται η ώρα 10:00 στις 03/04/2016 με αρχική διαφορά θερμοκρασίας 23,7 °C και υπολογίστηκε η ωφέλιμη ενέργεια 494,02 W. Όπως βλέπουμε πιο κάτω, η τελευταία καταγραφή έγινε η ώρα 17:00 με διαφορά θερμοκρασίας 8,4 °C έχοντας ωφέλιμη ενέργεια 175,1 W. Μέσα από τις μετρήσεις που πάρθηκαν υπολογίστηκε η ημερήσια ενέργεια που λαμβάνουμε για διάρκεια 7 ωρών στα 362241 KJ.



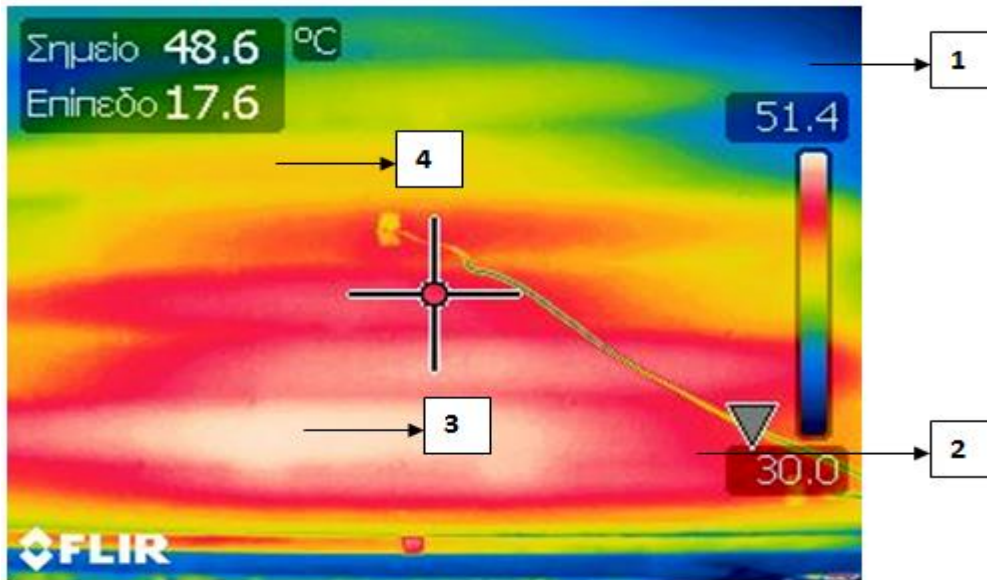
Σχήμα 5- 23: Γραφική παράσταση ωφέλιμης ενέργειας συλλέκτη με τετράγονους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

### 5.3 Ανάλυση θερμογραφήματος

Σ' αυτή την ενότητα έγινε χρήση της θερμοκάμερας FLIR B335, για να εντοπιστεί η κατανομή θερμοκρασίας του κάθε συλλέκτη. Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν για κάθε συλλέκτη από την θερμοκάμερα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5-24 και 5-25. Σε κάθε θερμογραφία παρουσιάζετε στα δεξιά της ένας δείκτης θερμοκρασιών ο οποίος έχει εύρος από την πιο χαμηλή μέχρι την πιο ψηλή θερμοκρασία του αντικειμένου που μελετάμε. Κάθε δείκτης, αποτελείτε από διάφορα χρώματα τα οποία σε κάθε περίπτωση αντιπροσωπεύουν την ένταση της θερμοκρασίας, δηλαδή ξεκινούν από μπλε χρώμα για την πιο χαμηλή και όσο αυξάνεται φτάνει στην πιο ψηλή με άσπρο χρώμα. Το σημείο 1 του θερμογραφήματος, είναι το σημείο όπου εισέρχεται μέσα στον συλλέκτη αέρας από το περιβάλλον με αποτέλεσμα το χρώμα του συγκεκριμένου σημείου να είναι μπλε και πράσινο. Το σημείο 2 του θερμογραφήματος, είναι το σημείο όπου εξέρχεται ο αέρας από τον συλλέκτη με αποτέλεσμα το χρώμα του συγκεκριμένου σημείου να είναι κόκκινο. Αυτό ήταν αναμενόμενο γιατί η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται κατά την ροή του μέσα στον αγωγό του συλλέκτη αλλά κατά την έξοδο του έχουμε μικρή επιρροή από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Στο σημείο 3 του θερμογραφήματος, παρατηρείται η μεγαλύτερη θερμοκρασία η οποία έχει άσπρο χρώμα για το λόγο ότι ο αέρας που κυκλοφορεί μέσα στον αγωγό, όσο πλησιάζει στην έξοδο φτάνει την μεγαλύτερη θερμοκρασία που μπορεί να πάρει. Το σημείο 4 του θερμογραφήματος, παρατηρούμαι ότι έχει κίτρινο χρώμα πράγμα που δείχνει ότι η επιφανειακή θερμοκρασία του συγκεκριμένου σημείου είναι σχετικά ψηλή.

### Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

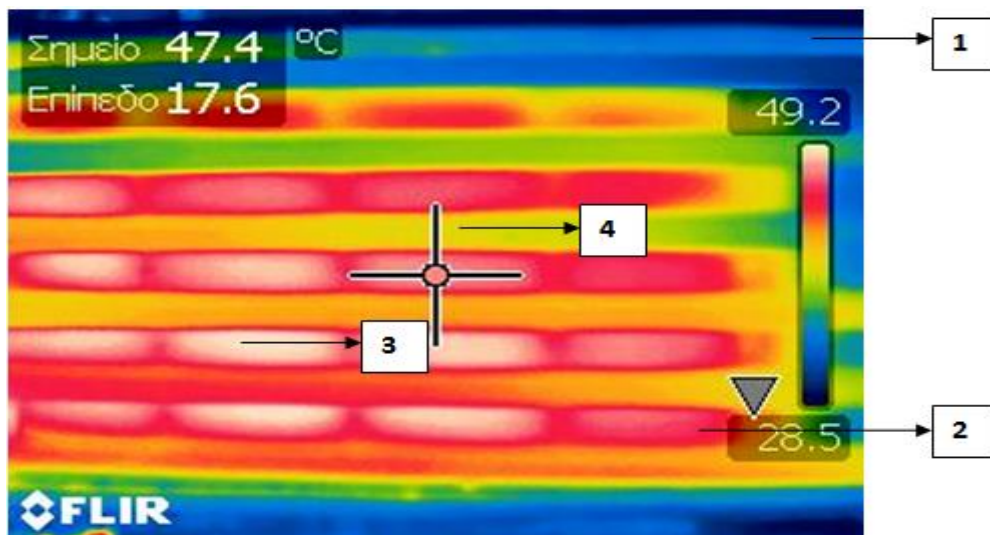
Ο δείκτης του πιο κάτω θερμογραφήματος έχει εύρος θερμοκρασιών από 30 – 51,4 °C, με το σημείο το οποίο παρουσιάζεται με σταυρό να έχει θερμοκρασία 48,6 °C.



Σχήμα 5- 24: Θερμογράφημα συλλέκτη με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου II)

### Συλλέκτης με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

Ο δείκτης του πιο κάτω θερμογραφήματος έχει εύρος θερμοκρασιών από 28,5 – 49,2 °C, με το σημείο το οποίο παρουσιάζεται με σταυρό να έχει θερμοκρασία 47,4 °C.



Σχήμα 5- 25: Θερμογράφημα συλλέκτη με τετράγωνους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Γενικά συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη και η κατασκευή δύο θερμικών ηλιακών συστημάτων για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μέσω ενσωμάτωσης ηλιακού θερμικού συλλέκτη αέρα σε πρόσοψη κτηρίου. Τα συστήματα που αναπτύχθηκαν με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα αποτελούν μια καλή και εφικτή λύση. Γενικά, συμπεραίνεται ότι αποτελούν μια αξιόπιστη και αποδοτική λύση, ενώ δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αισθητική του κτηρίου σε περίπτωση εφαρμογής τους στην πρόσοψη κτιρίων.

Με τη ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας και αναλύοντας τα πειραματικά αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, καταλήγουμε σε ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα.

- Ευκολία και χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Ο κατάλληλος προσανατολισμός του συλλέκτη για να έχουμε μέγιστο βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζεται σε αζιμουθιακή γωνία ίση με  $0^\circ$ , δηλαδή Νότιο προσανατολισμό.
- Μια σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει τον χρόνο σταθεροποίησης της θερμοκρασίας εξόδου του συλλέκτη, είναι το πάχος του αγωγού ροής του αέρα. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του αγωγού, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία εξόδου του αέρα.
- Η παράμετρος που προαναφέρθηκε επηρεάζει επίσης τον χρόνο ψύξης και επαναφοράς σε θέρμανση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα. Παράλληλα όμως, ένα από τα πλεονεκτήματα του αγωγού με μεγαλύτερο πάχος είναι ότι ο χρόνος πτώσης της θερμοκρασία εξόδου είναι μεγαλύτερος, με αποτέλεσμα σε ένα χώρο να επικρατεί περισσότερη ώρα θέρμανσης. Αυτό συμβαίνει κατά της απογευματινές ώρες της ημέρας όπου ο ήλιος τείνει προς την Δύση. Αντίθετα, στην περίπτωση αγωγού με μικρότερο πάχος παρατηρείται ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα, με αποτέλεσμα να έχουμε πιο γρήγορη θέρμανση του χώρου. Αυτό συμβαίνει κατά της πρωινές ώρες της ημέρας όπου ο ήλιος ανατέλλει.
- Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει το σύστημα είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Όσο μεγαλύτερη ακτινοβολία έχουμε τόσο μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας παρουσιάζεται. Μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας παρατηρείται κατά τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας, όπου ο ήλιος είναι πιο

κάθετος προς το συλλέκτη, ενώ μικρότερη ένταση ακτινοβολίας έχουμε κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες.

- Η απόδοση εξαρτάται ταυτόχρονα από την διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και την ακτινοβολία ( $G$ ), το οποίο φαίνεται και από την εξίσωση της απόδοσης.

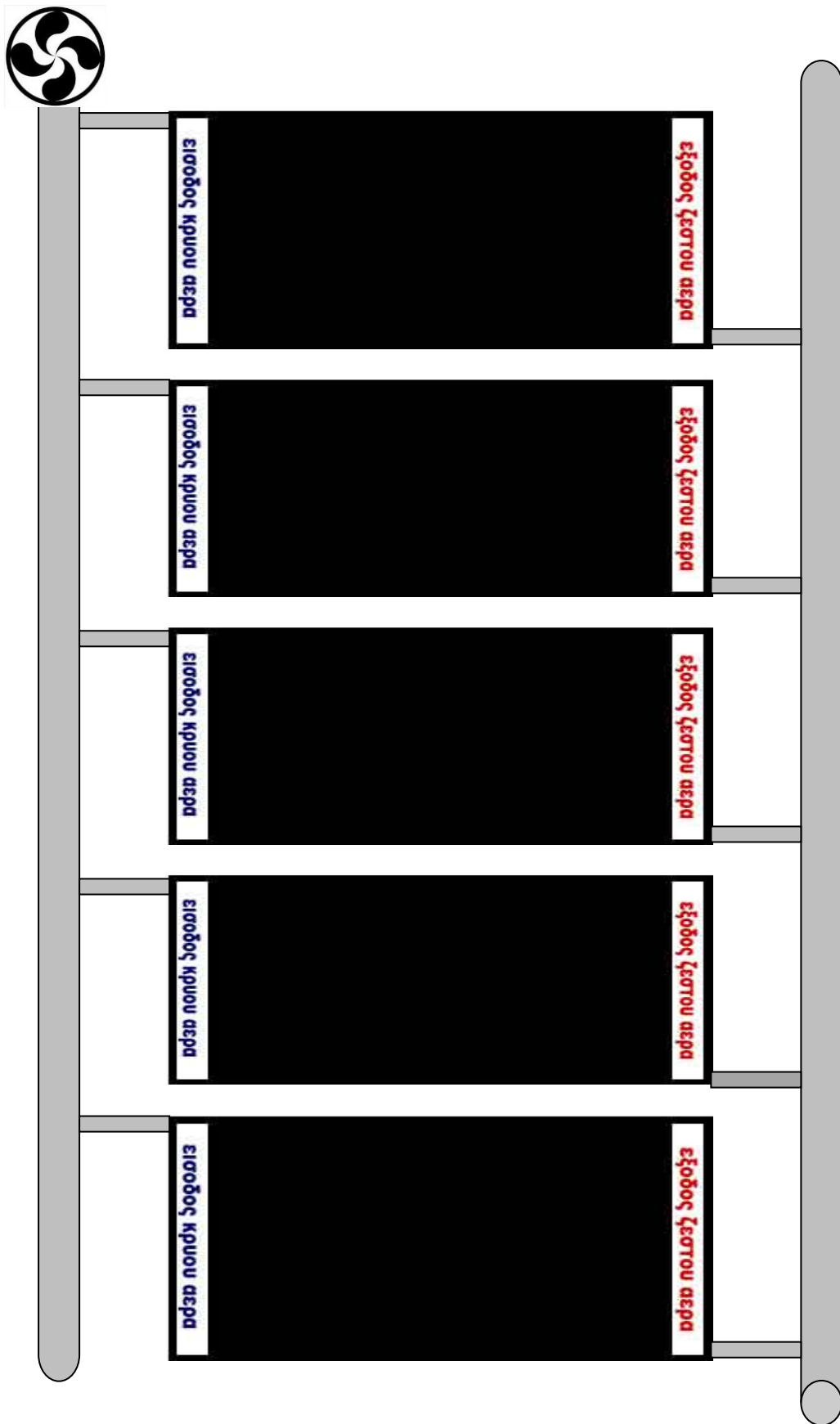
## 6.2 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Για περαιτέρω έρευνα του συγκεκριμένου θέματος μπορεί να γίνει ένα ειδικευμένο μαθηματικό μοντέλο για να διερευνηθούν περισσότερες παράμετροι που μπορούν να βελτιώσουν περισσότερο την απόδοση του συλλέκτη. Για παράδειγμα μπορούν να τοποθετηθούν κάποιου είδους εμπόδια στην ροή του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη για να μεταβάλλουν το είδος της ροής του. Επίσης, να γίνει συνεργασία με αρχιτέκτονες για τον τρόπο ενσωμάτωσης των συστημάτων στα κτήρια. Τέλος, θα πρέπει να μελετηθεί η συμπεριφορά του συλλέκτη σε σχέση με την ασφάλεια του κατά τη διάρκεια σεισμού και ακραίων καιρικών συνθηκών.

## 6.3 Μελλοντικές εφαρμογές

Μέσα από το κεφάλαιο 5 διαπιστώνεται ότι τέτοια συστήματα είναι μια εφαρμογή εξαιρετικά αποτελεσματική, αφού με σχετικά μικρό αρχικό κόστος υπάρχει ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας. Επιπρόσθετα, εκτός από την εφαρμογή τους σε κατοικίες μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλα κτήρια, όπως γραφεία εταιριών που εργάζονται μόνο την ημέρα οπότε η κάλυψη των αναγκών θα είναι μεγαλύτερη. Ο ζεστός αέρας θα ζεσταίνει τους χώρους εργασίας τους χειμερινούς μήνες και θα τους δροσίζει τους καλοκαιρινούς με εισαγωγή του αέρα από το εσωτερικό του κτηρίου και αποβολή του θερμού στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την δημιουργία ροής φρέσκου αέρα στο χώρο. Με αυτό τον τρόπο θα παρέχεται θερμική άνεση καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Επίσης, η οφειλόμενη ενεργεία που λαμβάνουμε ημερήσιος από τα συγκεκριμένα συστήματα είναι ικανοποιητική (βλ. Πείραμα 5.2.7) με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή τους σε μεγαλύτερα συστήματα θα ήταν ιδανική. Στο Σχήμα 6-1 παρουσιάζεται μια προτεινόμενη λύση για εφαρμογή των συγκεκριμένων συστημάτων σε μεγαλύτερα συστήματα. Ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου θα γίνεται η επιλογή του αριθμού των συλλεκτών που θα αποτελούν το όλο σύστημα. Επιπρόσθετα, η κυκλοφορία του αέρα θα γίνεται με την χρήση ενός κοινού ανεμιστήρα ο οποίος θα ενώνει όλες τις εισόδους των συλλεκτών ενώ ο θερμός αέρας θα ρέει μέσα από ένα κοινό αγωγό για όλες τις εξόδους και θα εισέρχεται στο χώρο.



Σχήμα 6- 1: Εφαρμογή συλλεκτών σε μεγάλο σύστημα

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alejandro Hernandez, 2014, "Thermal Evaluation and Modeling of a Double-pass Solar Collector for Air Heating", *Energy Procedia*, vol.57, pp.2275-2284.

Anon, Ηλιακή ενέργεια Ηλιακή γεωμετρία.

Badache, M. et al., 2013, "Experimental and numerical simulation of a two-dimensional unglazed transpired solar air collector", *Solar Energy*, vol.93, pp.209–219.

Global Solar Thermal Energy Council, 2008, Recovered from <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/solar%20thermal%20roofing%20systems.pdf>, Accessed: December 8, 2014.

History of Solar Energy, 2014. ExploringGreenTechnology.Recovered from <http://www.Exploringgreentechnology.com/solar-energy/history-of-solar-energy>.

Ion Visa, 2015, "Comparative analysis of the infield response of five types of photovoltaic modules", *Renewable Energy*, vol.95, pp.178-190.

Kalogirou, S.A., 2004, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.30, pp.231–295.

Kalogirou, S.A., Tripanagnostopoulos, Y. & Souliotis, M. 2005, "Performance of solar systems employing collectors with colored absorber", *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 8, pp. 824-835.

Kalogirou, S.A., 2013, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, Second Edition, ISBN: 978-0-12-397270-5, Academic Press, Elsevier Science.

Matuska, T. & Sourek, B. 2006, "Façade solar collectors", *Solar Energy*, vol. 80, no.11, pp.1443-1452.

Ming Yang, 2012, "The effect of parameter uncertainty on achieved safety integrity of safety system", *Reliability Engineering & System Safety*, vol.109, no 99, pp.3-4.

Moumimi, N. et al., 2004, "Energy analysis of a solar air collector with rows of fins", *Renewable Energy*, vol.29, no 13, pp.2053–2064.

Naphon, P. 2005, "Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 32, no. 1–2, pp. 140-150.

Njomo, D., 1998, "Étude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre", *Revue Générale de Thermique*, vol. 37, no 11, pp.973–980.

Rommel, M. & Moock, W., 1997, "Collector efficiency factor F' for absorbers with rectangular fluid ducts contacting the entire surface", *Solar Energy*, vol.60, no 3-4, pp.199–207.

Shiqeki Hirasawa, 2013, "Reduction of heat loss from solar thermal collector by diminishing natural convection with high-porosity porous medium", *Solar Energy*, vol.97, pp.305-313.

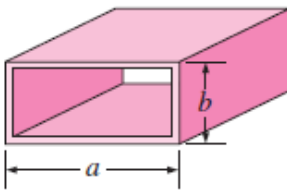
Youcef – Ali, S. & Desmons, J.Y., 2006, "Numerical and experimental study of a solar equipped with offset rectangular plate fin absorber plate", *Renewable Energy*, vol. 31, no.13, pp.2063-2075.



## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 8.1 Παράρτημα Α: Πίνακες και Διαγράμματα

**Παράρτημα Α-1:** Πίνακας αριθμού Nusselt για σταθερή θερμοκρασία και σταθερή ροή θερμότητας καθώς και συντελεστή τριβής για διαφορετικά σχήματα.

Tube Geometry	$a/b$ or $\theta^\circ$	Nusselt Number		Friction Factor $f$
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$	
	$a/b$			
	1	2.98	3.61	56.92/Re
	2	3.39	4.12	62.20/Re
	3	3.96	4.79	68.36/Re
	4	4.44	5.33	72.92/Re
	6	5.14	6.05	78.80/Re
	8	5.60	6.49	82.32/Re
	$\infty$	7.54	8.24	96.00/Re

Πηγή: (Cengel, Y.A. & Ghajar A.J, 2013)

**Παράρτημα Α-2:** Πίνακας ιδιοτήτων αέρα σε 1 ατμόσφαιρα και σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

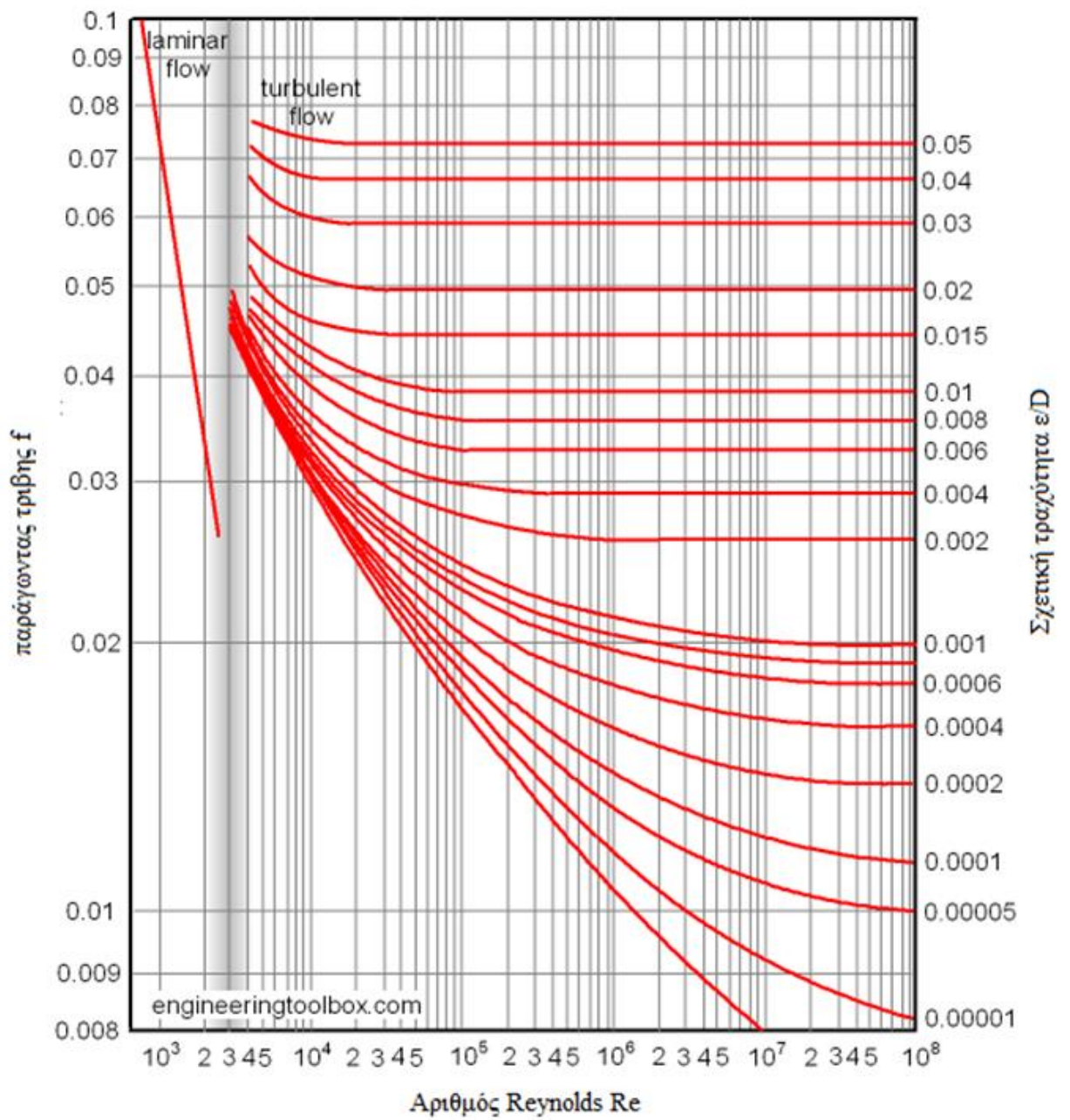
**TABLE A-15**

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-5}$	$3.013 \times 10^{-5}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935

Πηγή: (Cengel, Y.A. & Ghajar A.J, 2013)

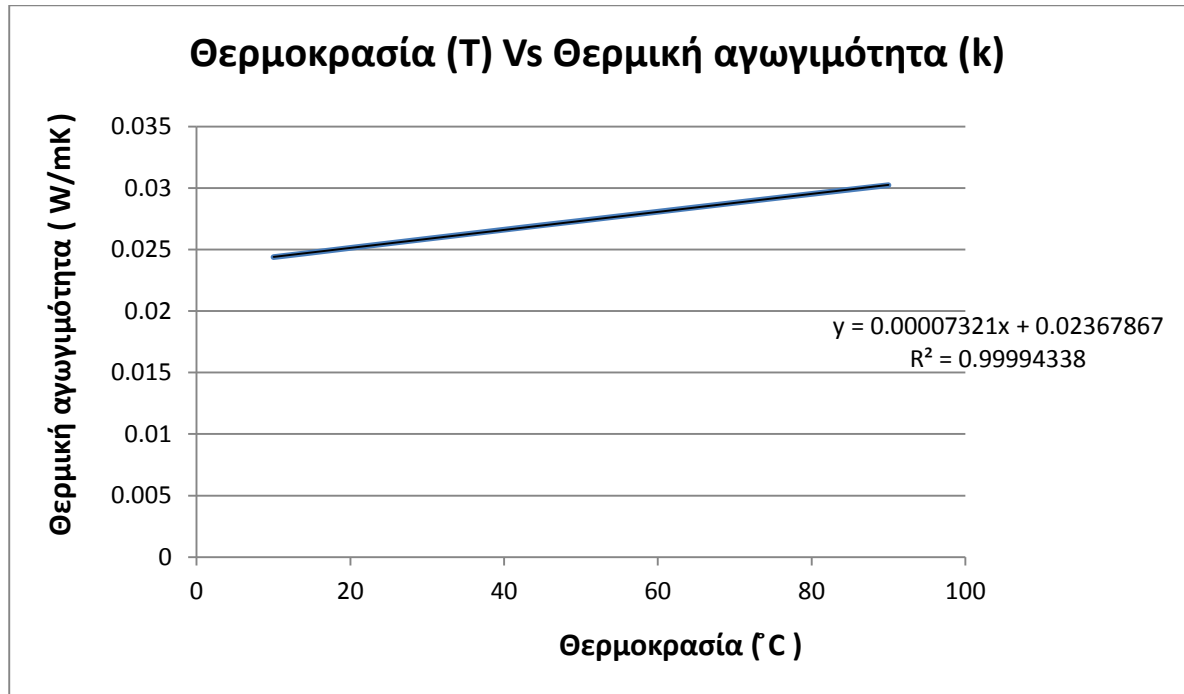
### Παράρτημα Α-3: Διάγραμμα Moody



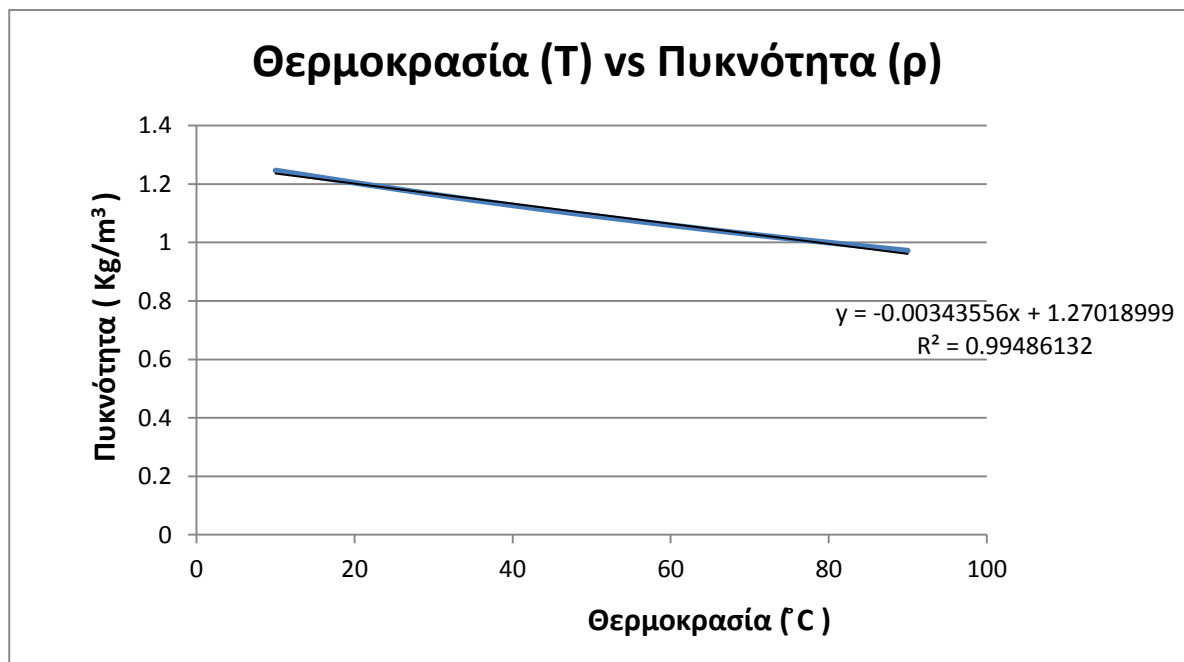
Πηγή: (Cengel,2005)

## 8.2 Παράρτημα Β: Υπολογισμός ιδιοτήτων αέρα για χρήση στην Excel

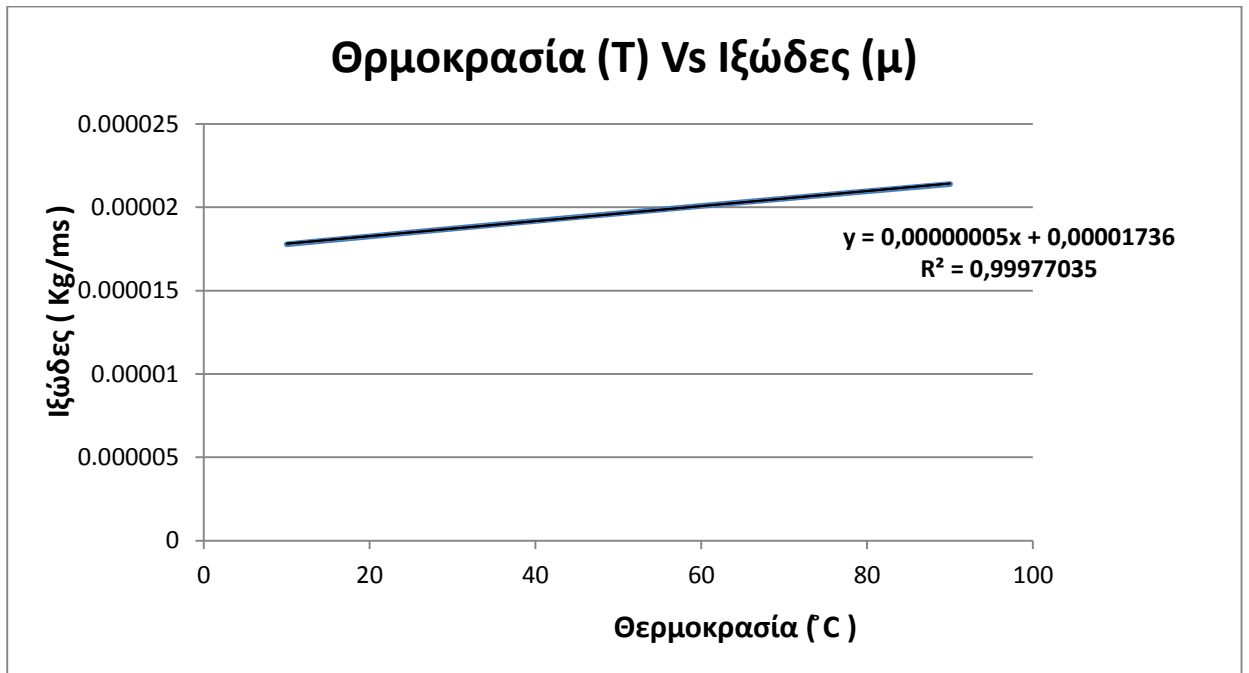
**Παράρτημα Β-1:** Συσχέτιση θερμοκρασίας-συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Εξαγωγή εξίσωσης ούτως ώστε να υπολογίζεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για κάθε θερμοκρασία.



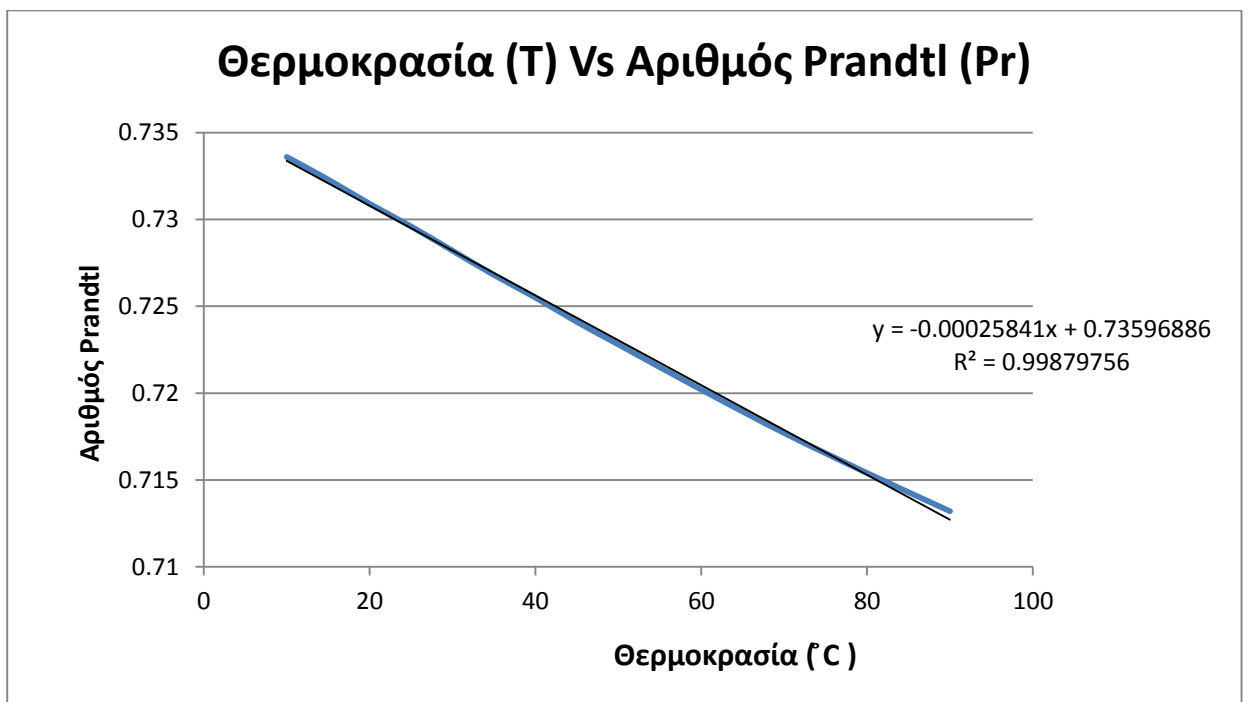
**Παράρτημα Β-2:** Συσχέτιση θερμοκρασίας-πυκνότητα αέρα. Εξαγωγή εξίσωσης ούτως ώστε να υπολογίζεται η πυκνότητα του αέρα για κάθε θερμοκρασία.



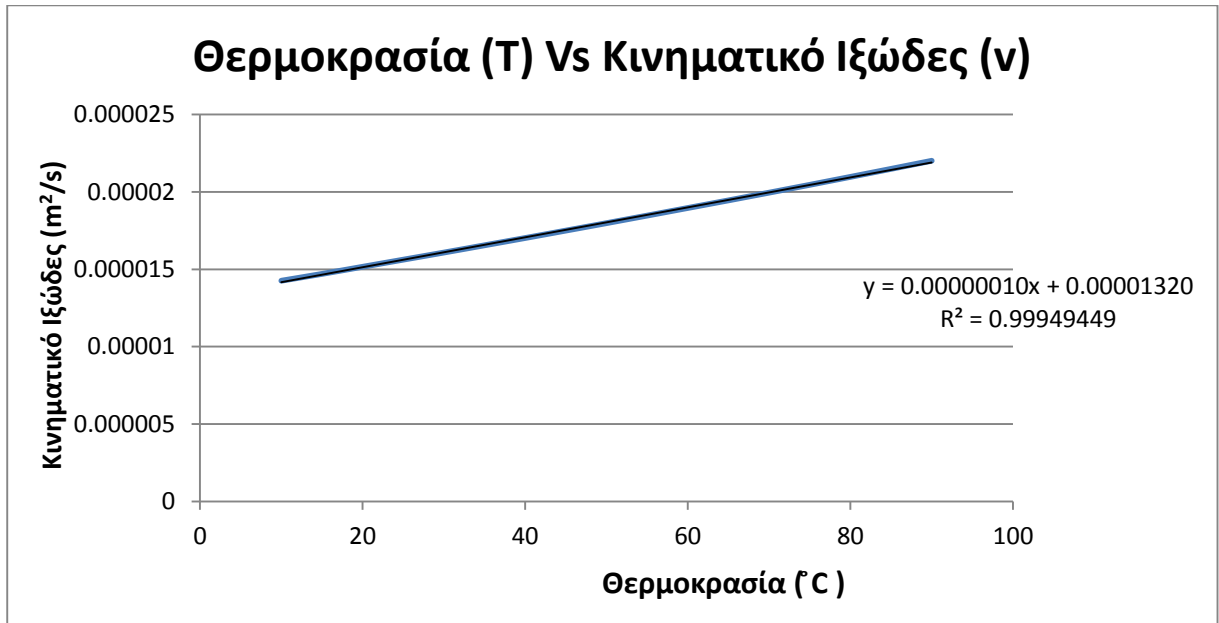
**Παράρτημα Β-3:** Συσχέτιση θερμοκρασίας- ιξώδες. Εξαγωγή εξίσωσης ούτος ώστε να υπολογίζεται το ιξώδες για κάθε θερμοκρασία.



**Παράρτημα Β-4:** Συσχέτιση θερμοκρασίας-αριθμό Prandtl. Εξαγωγή εξίσωσης ούτος ώστε να υπολογίζεται ο αριθμό Prandtl για κάθε θερμοκρασία.



**Παράρτημα Β-5:** Συσχέτιση θερμοκρασίας-κινηματικού ιξώδες. Εξαγωγή εξίσωσης ούτως ώστε να υπολογίζεται το κινηματικό ιξώδες για κάθε θερμοκρασία.



### 8.3 Παράρτημα Γ: Ιδιότητες Υλικών

#### Παράρτημα Γ-1: Δείκτης εκπομπής του γυαλιού

**TABLE A-18**  
Emissivities of surfaces (Concluded)  
(b) Nonmetals

Material	Temperature, K	Emissivity, $\epsilon$	Material	Temperature, K	Emissivity, $\epsilon$
Alumina	800–1400	0.65–0.45	Paper, white	300	0.90
Aluminum oxide	600–1500	0.69–0.41	Plaster, white	300	0.93
Asbestos	300	0.96	Porcelain, glazed	300	0.92
Asphalt pavement	300	0.85–0.93	Quartz, rough, fused	300	0.93
Brick			Rubber		
Common	300	0.93–0.96	Hard	300	0.93
Fireclay	1200	0.75	Soft	300	0.86
Carbon filament	2000	0.53	Sand	300	0.90
Cloth	300	0.75–0.90	Silicon carbide	600–1500	0.87–0.85
Concrete	300	0.88–0.94	Skin, human	300	0.95
Glass			Snow	273	0.80–0.90
Window	300	0.90–0.95	Soil, earth	300	0.93–0.96
Pyrex	300–1200	0.82–0.62	Soot	300–500	0.95
Pyroceram	300–1500	0.85–0.57	Teflon	300–500	0.85–0.92
Ice	273	0.95–0.99	Water, deep	273–373	0.95–0.96
Magnesium oxide	400–800	0.69–0.55	Wood		
Masonry	300	0.80	Beech	300	0.94
Paints			Oak	300	0.90
Aluminum	300	0.40–0.50			
Black, lacquer, shiny	300	0.88			
Oils, all colors	300	0.92–0.96			
Red primer	300	0.93			
White acrylic	300	0.90			
White enamel	300	0.90			

Πηγή: (Cengel,2005)

## Παράρτημα Γ-2: Θερμική αγωγιμότητα τοίχου

**TABLE A-5**  
Properties of building materials (at a mean temperature of 24 °C)

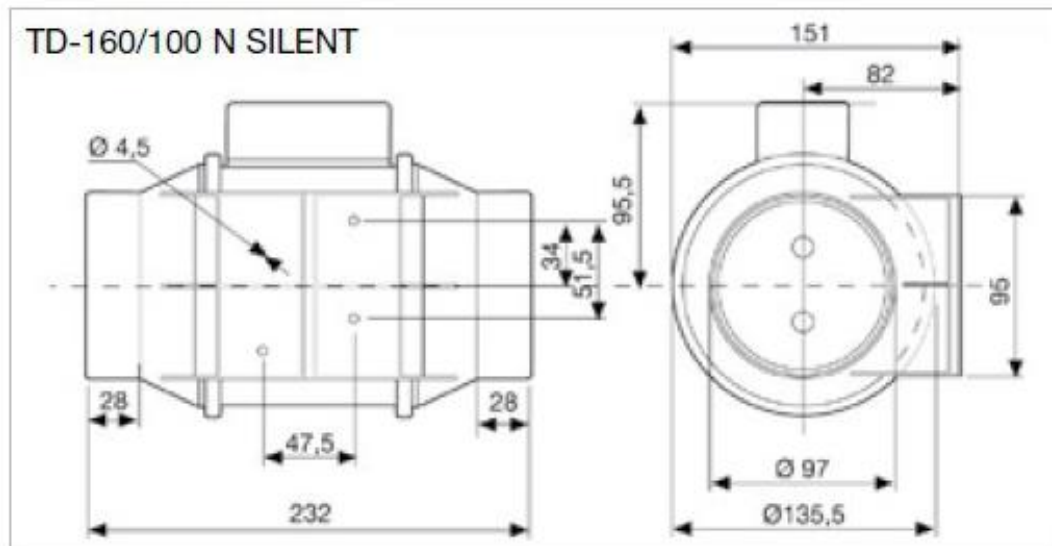
Material	Thickness, $L$ mm	Density, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Thermal Conductivity, $k$ W/m · K	Specific Heat, $c_p$ kJ/kg · K	$R$ -value (for listed thickness, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Building Boards</b>					
Asbestos-cement board	6 mm	1922	—	1.00	0.011
Gypsum of plaster board	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Plywood (Douglas fir)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Insulated board and sheathing (regular density)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Hardboard (high density, standard tempered)	—	1010	0.14	1.34	—
Particle board:					
Medium density	—	800	0.14	1.30	—
Underlayment	16 mm	640	—	1.21	0.144
Wood subfloor	20 mm	—	—	1.38	0.166
<b>Building Membrane</b>					
Vapor-permeable felt	—	—	—	—	0.011
Vapor-seal (2 layers of mopped 0.73 kg/m <sup>2</sup> felt)	—	—	—	—	0.021
<b>Flooring Materials</b>					
Carpet and fibrous pad	—	—	—	1.42	0.367
Carpet and rubber pad	—	—	—	1.38	0.217
Tile (asphalt, linoleum, vinyl)	—	—	—	1.26	0.009
<b>Masonry Materials</b>					
Masonry units:					
Brick, common	—	1922	0.72	—	—
Brick, face	—	2082	1.30	—	—

Πηγή: (Cengel,2005)

## 8.4 Παράρτημα Δ: Στοιχεία Ανεμιστήρα

### Παράρτημα Δ-1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα

#### ■ Afmetingen (mm)



### Παράρτημα Δ-2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα

#### ■ Technische gegevens

Model	Toerental (r.p.m.)	Vermogen (W)	Opgenomen stroom (A)	Capaciteit (m <sup>3</sup> /u)	Maximale temperatuur (°C)	Geluidni- veau* (dB(A))	Ø Kanaal (mm)	Gewicht (Kg)
TD-160/100 N SILENT	2500 2200	25 12	0,16 0,10	180 140	-20/+40	24 21	100	1,40
TD-250/100 SILENT	2200 1850	24 18	0,11 0,10	240 180	-20/+40	24 19	100	5,40
TD-350/125 SILENT	2250 1900	30 22	0,13 0,10	380 280	-20/+40	20 19	125	4,94
TD-500/150-160 SILENT **	2500 1950	50 44	0,22 0,19	580 430	-20/+60	22 17	150 /160	6,00
TD-800/200 SILENT	2780 2480	95 90	0,45 0,43	880 700	-20/+60	19 18	200	8,70
TD-1000/200 SILENT	2500 2000	120 100	0,50 0,45	1100 800	-40/+60	21 20	200	8,70
TD-1300/250 SILENT	2570 2190	197 145	0,83 0,61	1270 1070	-40/+60	35 31	250	20,0
TD-2000/315 SILENT	2680 2300	297 191	1,28 0,79	1770 1500	-40/+60	39 33	315	25,0

\* Geluiddrukkniveau, geproduceerd op 3 meter afstand in het vrije veld, met aangesloten kanalen.

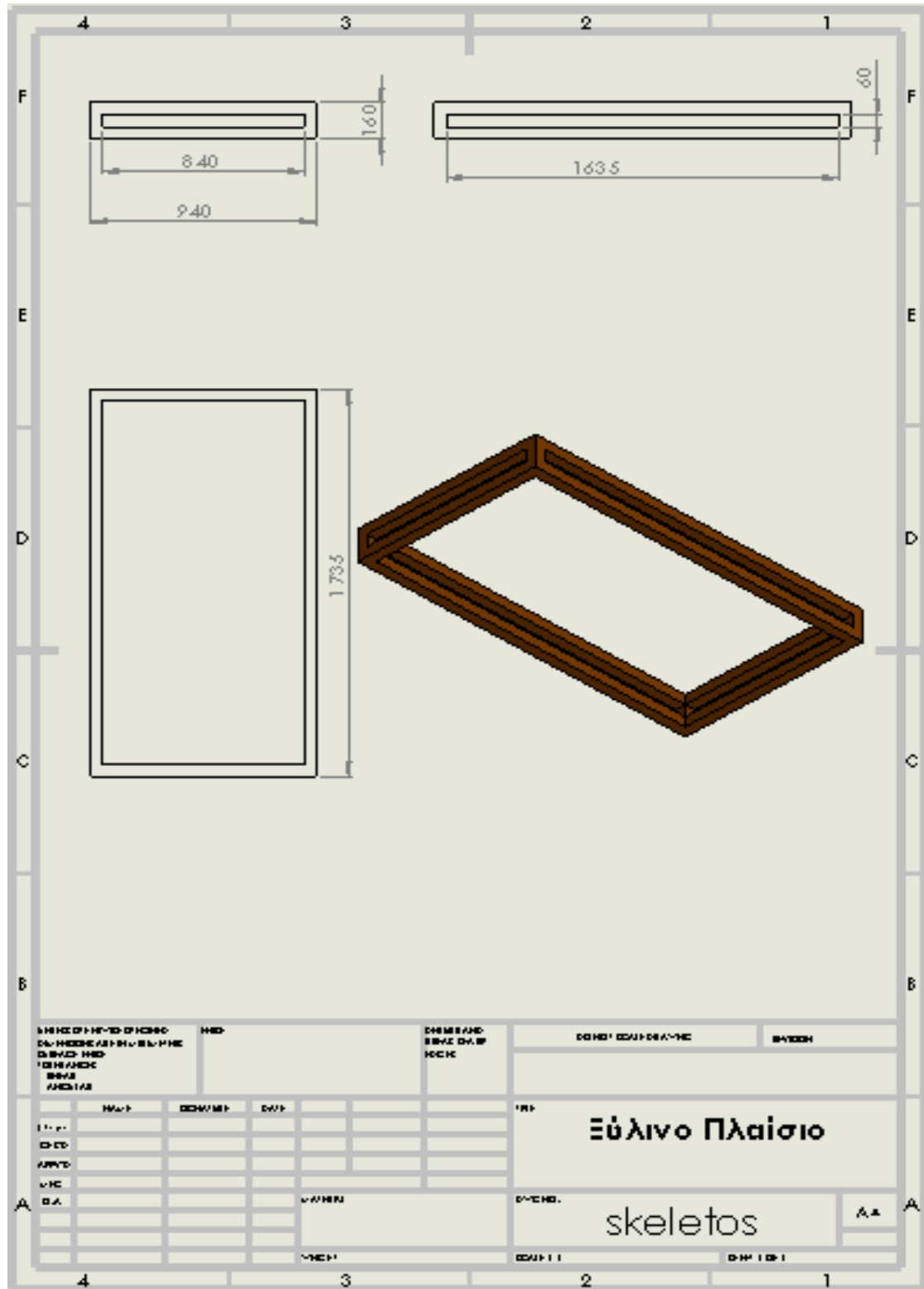
\*\* Er wordt een extra rubberpakking meegeleverd voor de installatie in 160 mm kanalisaties.



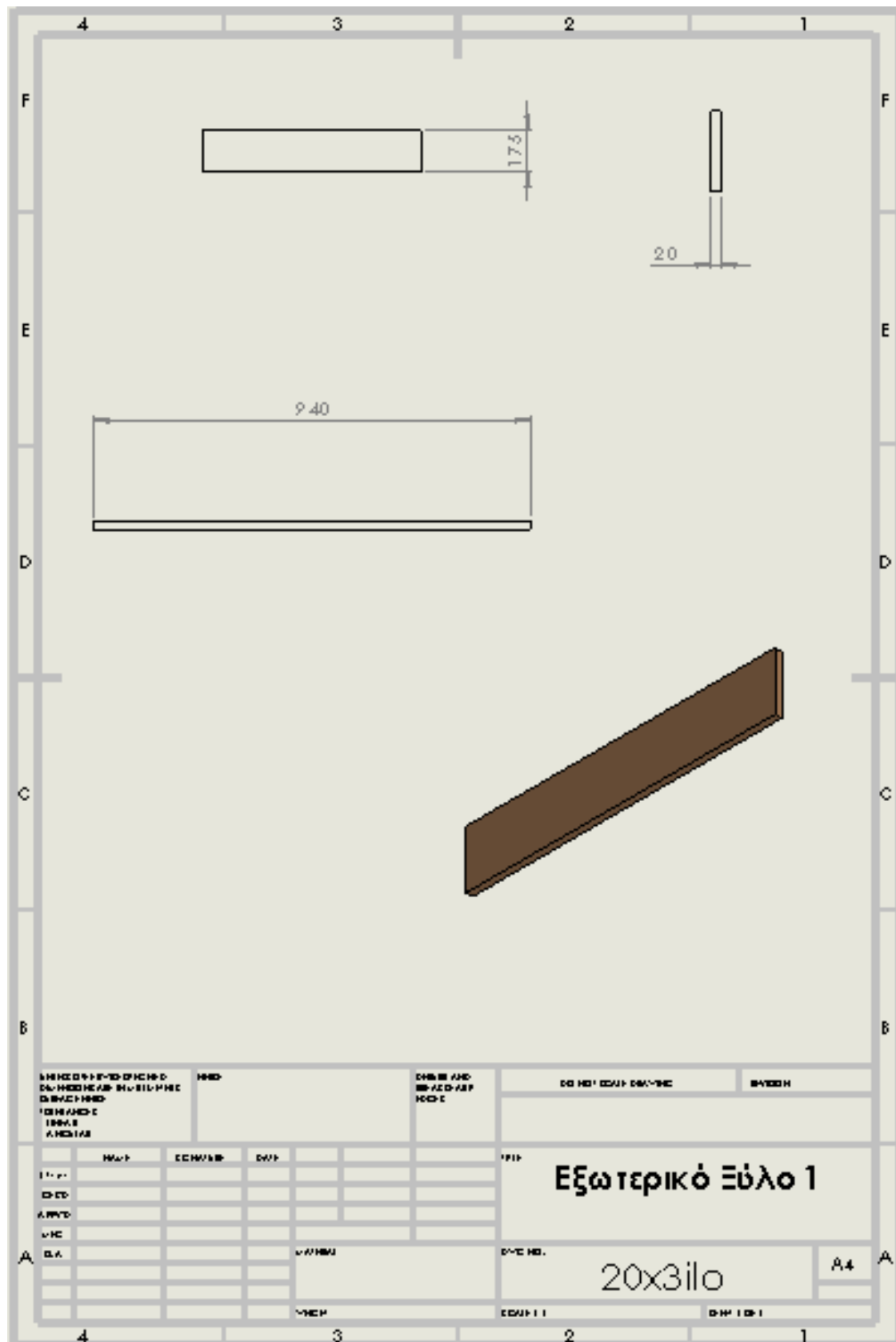
### 8.5 Παράρτημα Ε: Κατασκευαστικά Σχέδια

Τα κατασκευαστικά σχέδια των παραρτημάτων Ε-1, Ε-2, Ε-3, Ε-4, Ε-5 είναι κοινά και για τους δύο συλλέκτες.

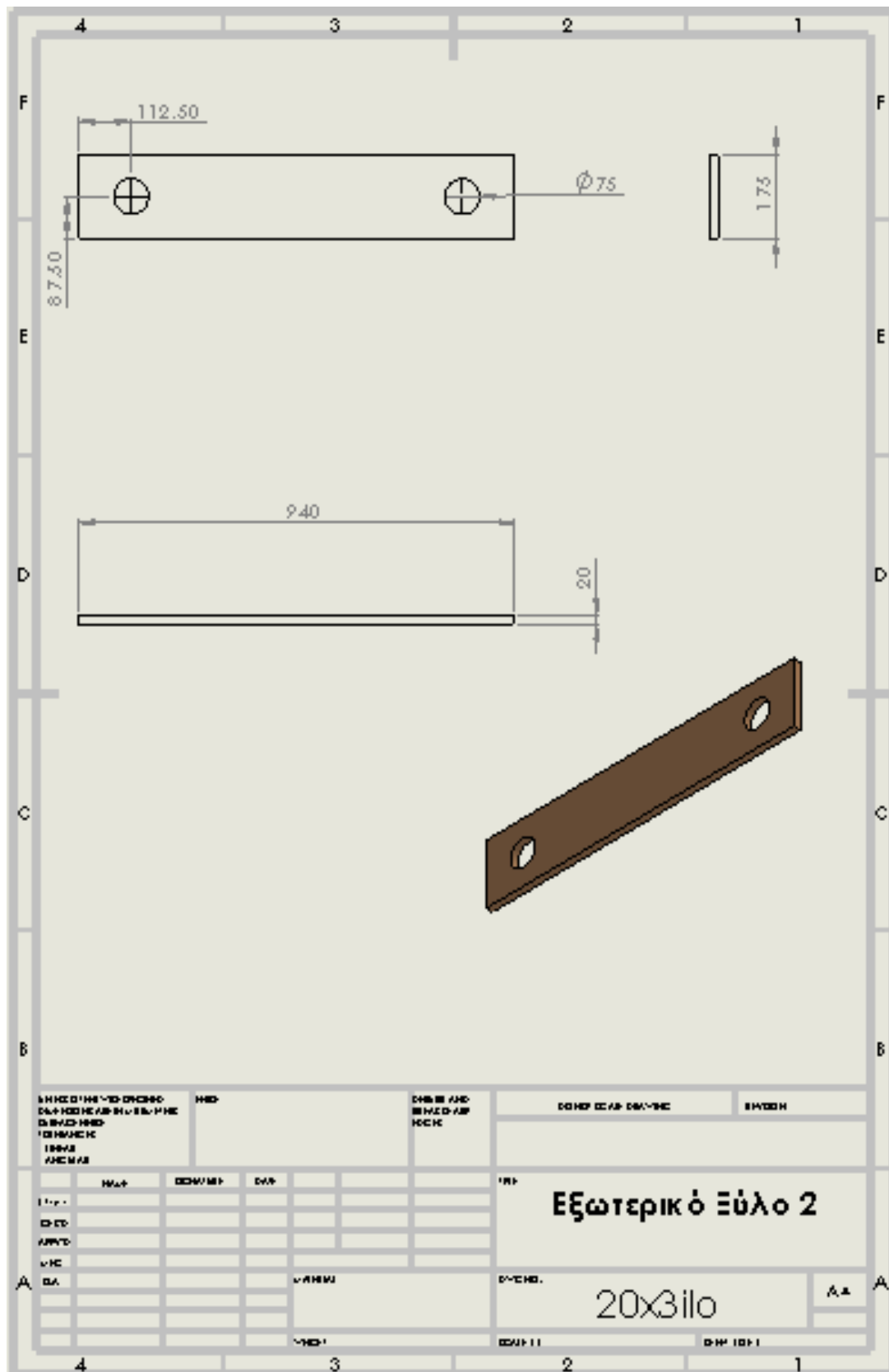
#### Παράρτημα Ε-1:



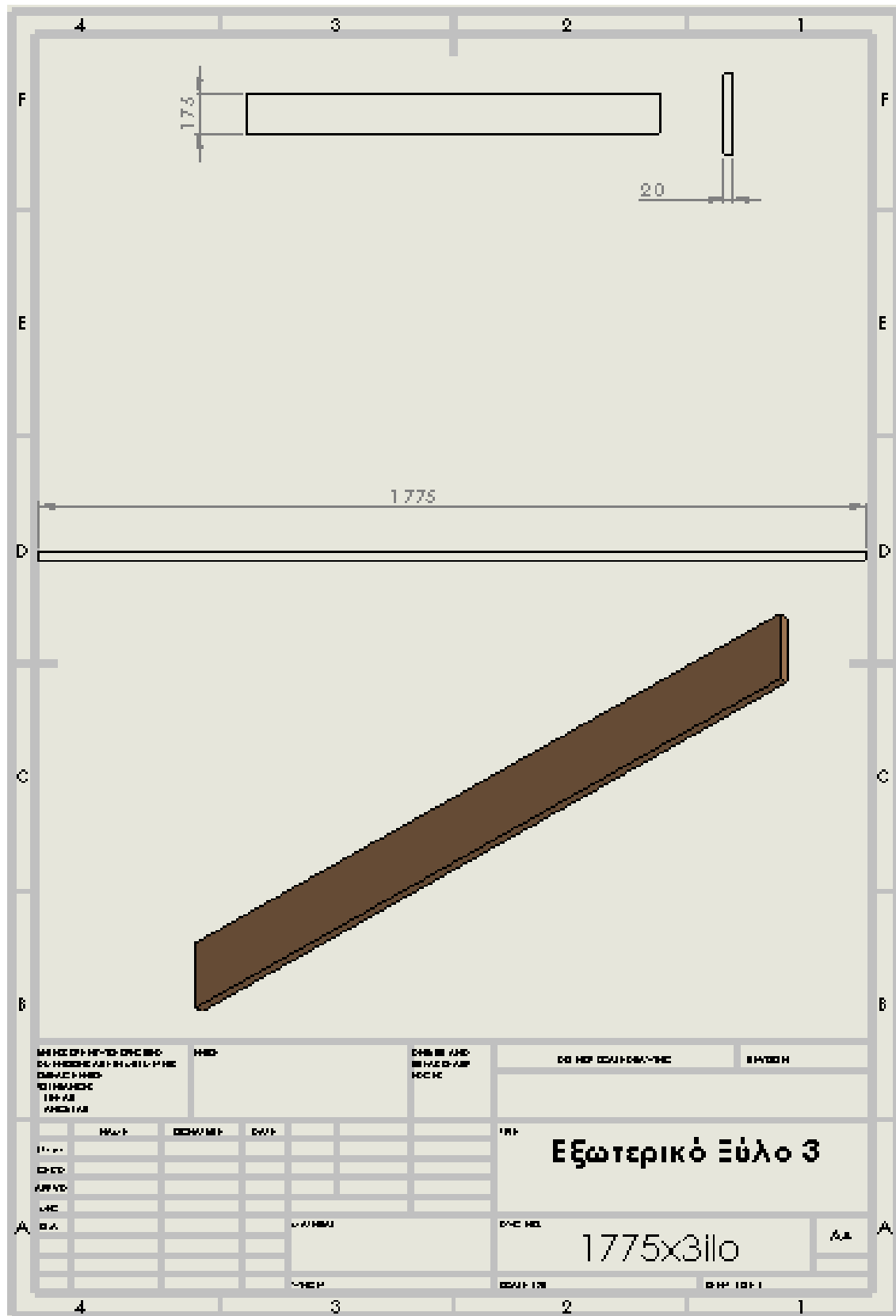
Παράρτημα Ε-2:



Παράρτημα Ε-3:



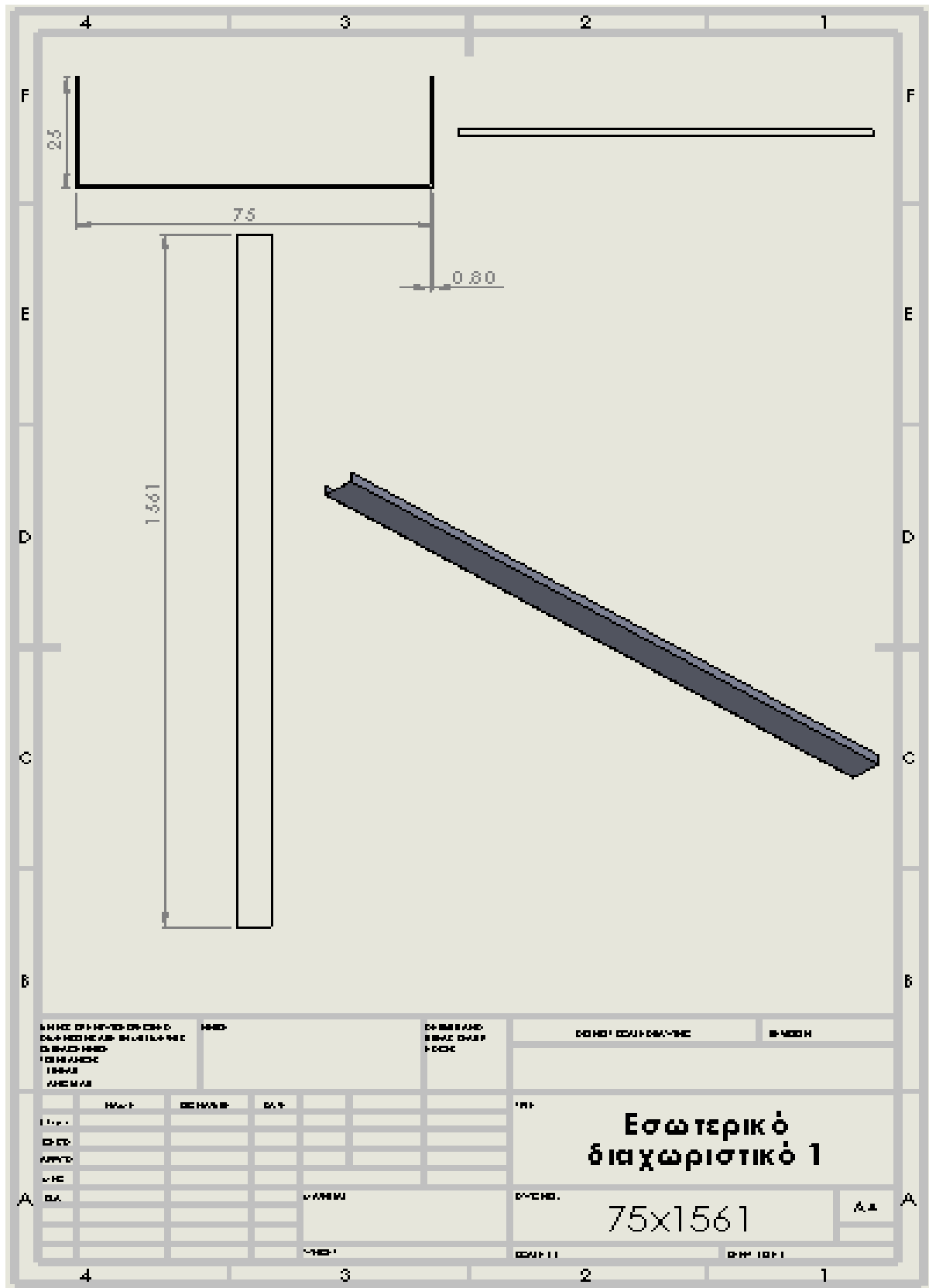
**Παράρτημα Ε-4:**



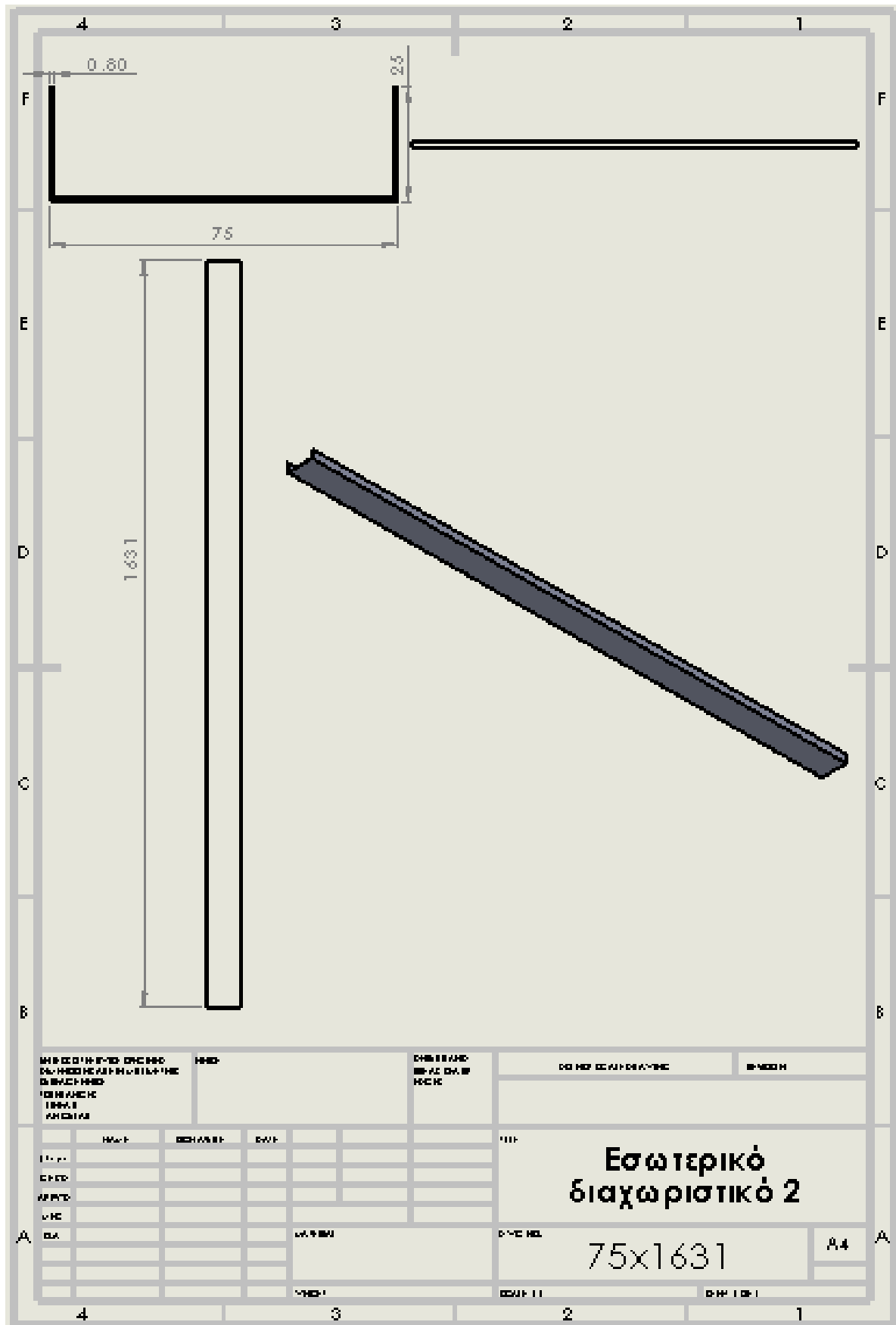


Συλλέκτης με εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα μετάλλου (τύπου Π)

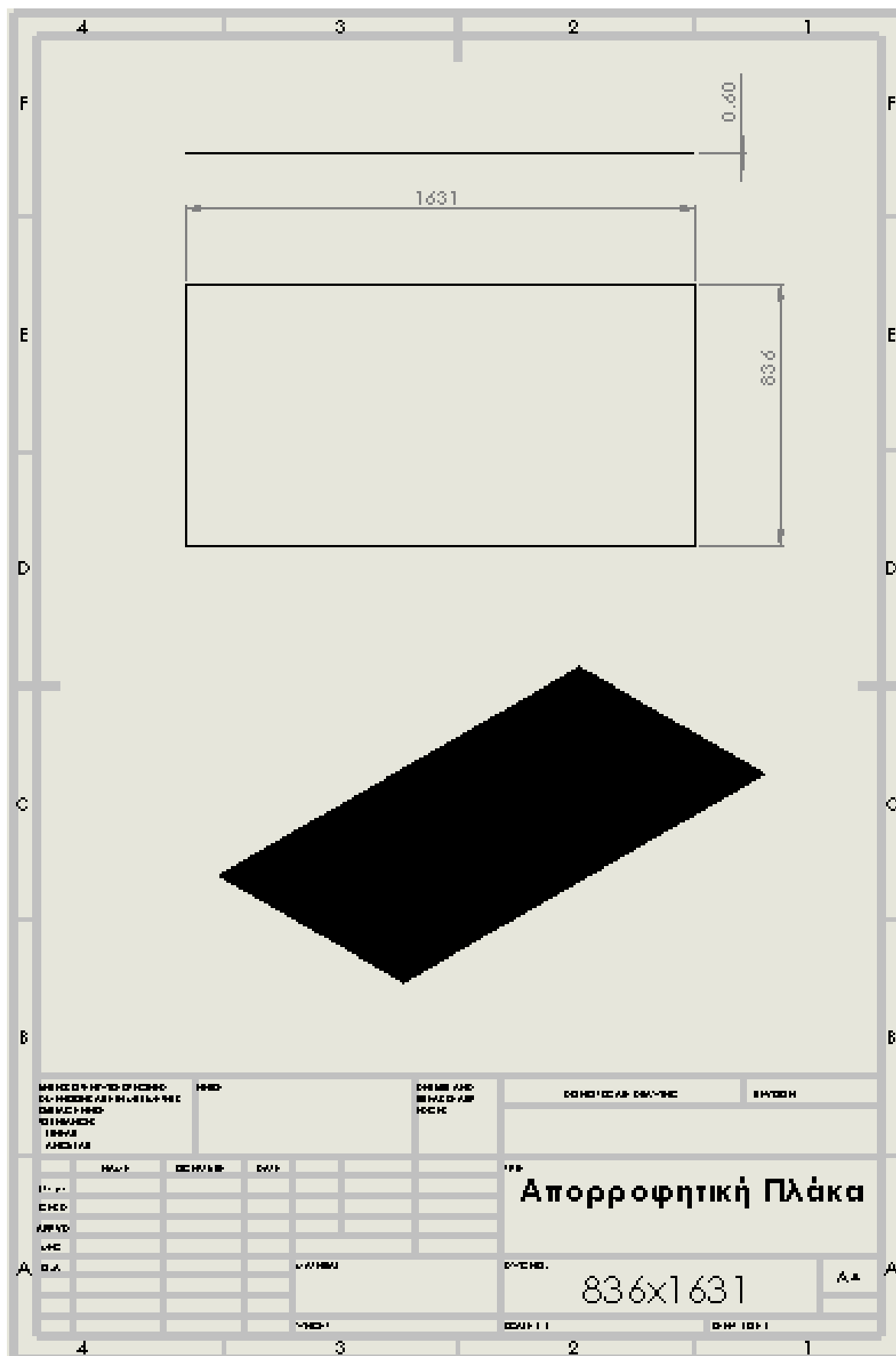
Παράρτημα Ε-6:



**Παράρτημα Ε-7:**



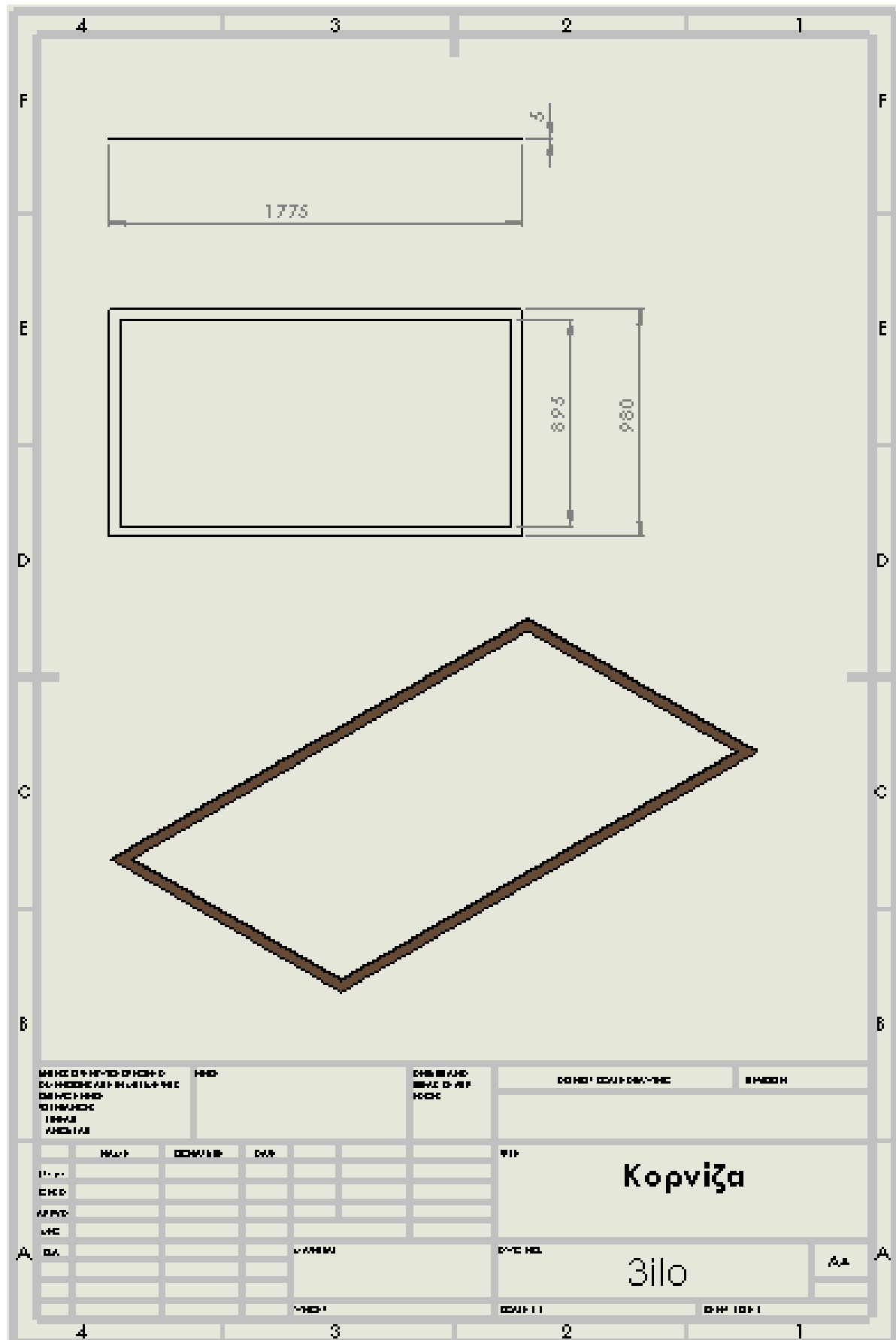
**Παράρτημα Ε-8:**





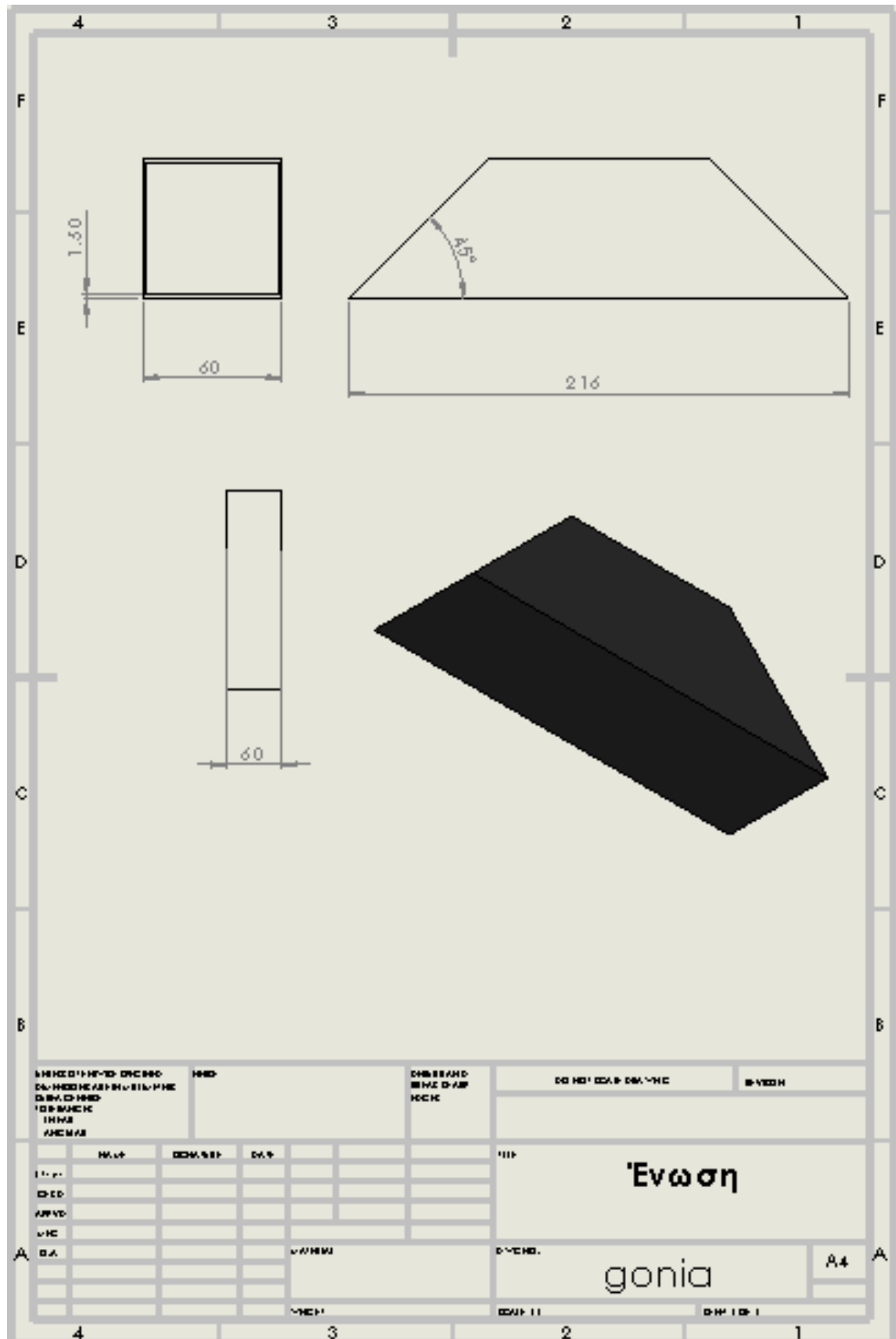


**Παράρτημα Ε-10:**

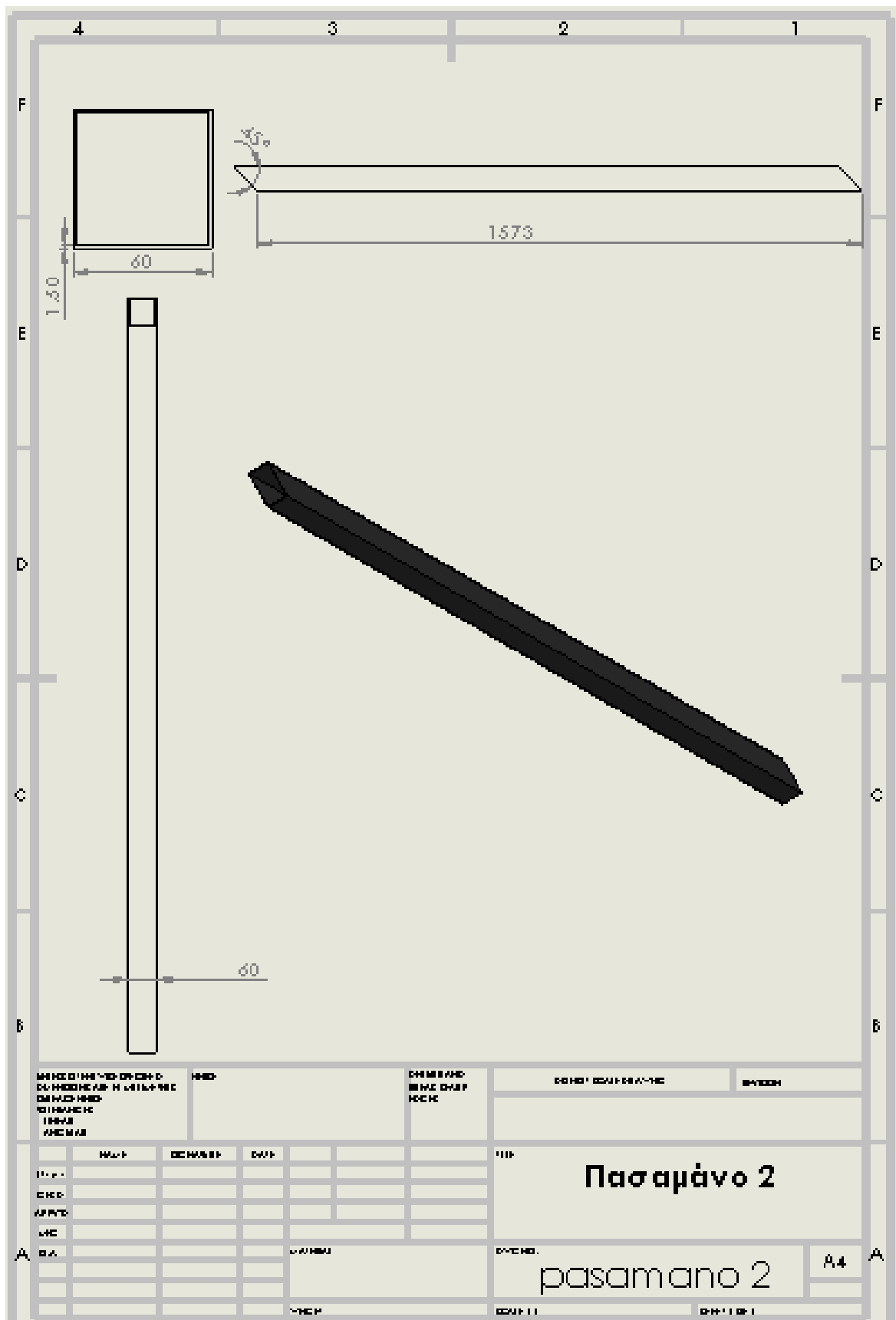


Συλλέκτης με ορθογώνιους αγωγούς μετάλλου (πασαμάννα)

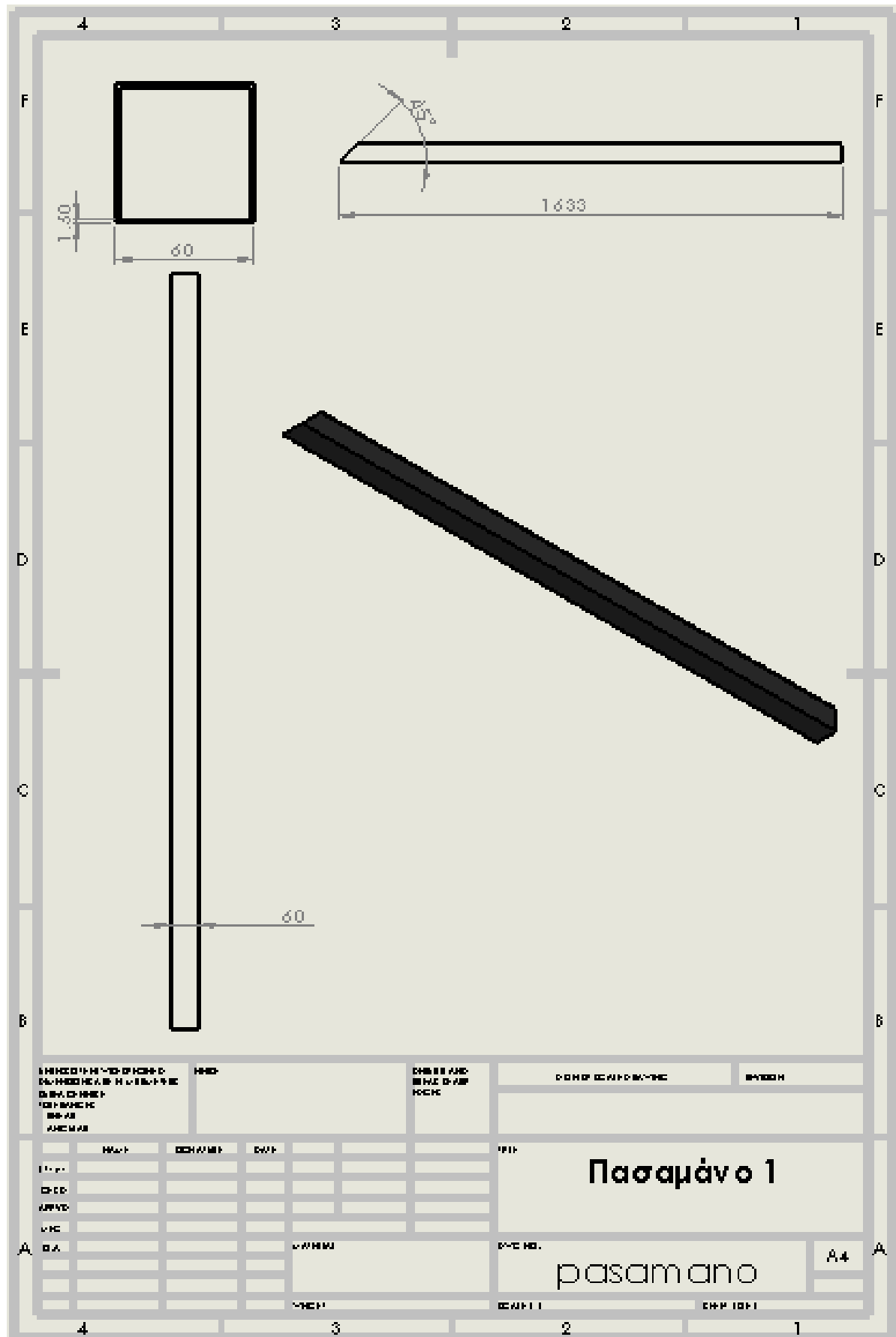
Παράρτημα E-11:



Παράρτημα Ε-12:



Παράρτημα Ε-13:



Παράρτημα Ε-14:

