



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ

Ενεργειακά Συστήματα & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΟΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΝΤΟΥΔΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ
2012

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ

Ενεργειακά Συστήματα & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΟΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΝΤΟΥΔΑΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

Τριμελής Επιτροπή

Γ. Παπαδάκης, Καθηγητής Γ.Π.Α, *(Επιβλέπων Καθηγητής)*

Γ. Λαμπρινός, Καθηγητής Γ.Π.Α

Π. Παναγάκης, Επικ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ
2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος σχημάτων	6
Κατάλογος πινάκων	6
Περίληψη –Λέξεις κλειδιά	7
Abstract	8
Ευχαριστίες	9
Πρόλογος	11
Κεφάλαιο 1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	
1.1 Α.Π.Ε	12
1.1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε)	12
1.1.2 Είδη Α.Π.Ε	12
1.1.3 Τα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε	13
1.1.4 Οικονομική Πολιτική για τις Α.Π.Ε	14
1.2 Ηλιακή Ενέργεια	14
1.2.1 Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας	14
1.2.2 Τα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας	15
1.2.3 Η ηλιακή ακτινοβολία και εποχές	16
1.2.4 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία	17
1.2.5 Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο	18
1.2.6 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας	29
1.3 Ενεργητικά Ηλιακά Θερμικά Συστήματα	21
1.3.1 Ηλιακά Θερμικά Συστήματα στην Ελλάδα	23
1.3.2 Ηλιακοί Συλλέκτες	26
1.3.3 Βασικές Αρχές Λειτουργίας	26
Κεφάλαιο 2 Σχεδιασμός και Κατασκευή ΗΣΑ	
2.1 Εισαγωγή στους Ηλιακούς Συλλέκτες Αέρος (ΗΣΑ)	30
2.2 Σχεδιασμός ΗΣΑ – Υλικά κατασκευής	31

2.3	Κατασκευαστικά Δεδομένα - Λειτουργία ΗΣΑ	33
-----	--	----

Κεφάλαιο 3 Πειραματικός Προσδιορισμός Απόδοσης Συλλέκτη

3.1	Μέθοδος και Πρότυπα	37
3.2	Περιγραφή της πειραματικής διάταξης	37
3.3	Μοντελοποίηση –Προσομοίωση διαδικασίας	42
3.3.1	Απόδοση ηλιακού συλλέκτη	44
3.3.2	Απώλειες Ηλιακού Συλλέκτη	45
3.3.2.1	Απώλειες Ηλιακού Συλλέκτη Αέρος	46

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα Μετρήσεων - Συζήτηση

4.1	Διαδικασία λήψης μετρήσεων	49
4.2	Παρουσίαση μετρήσεων - Συζήτηση	49

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

5.1	Συμπεράσματα	59
5.2	Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση	60

	Πηγές-Βιβλιογραφία	61
--	---------------------------	----

	Παράρτημα Α Υλικά ΗΣΑ	64
--	------------------------------	----

	Παράρτημα Β Διαγράμματα μετρήσεων	76
--	--	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.1:** Ποσοστό χρήσης Α.Π.Ε παγκοσμίως.
- Σχήμα 1.2:** Κατανομή ηλιακής ισχύς συναρτήσει μήκος κύματος
- Σχήμα 1.3:** Πορεία ήλιου
- Σχήμα 1.4:** Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία
- Σχήμα 1.5:** Επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και η κατανομή τους στον πλανήτη
- Σχήμα 1.6:** Διάγραμμα υπολογισμού ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο
- Σχήμα 1.7:** Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παθητικά ηλιακά συστήματα)
- Σχήμα 1.8:** Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παραγωγή Ηλ. Ενέργειας)
- Σχήμα 1.9:** Ηλιακά Θερμικά συστήματα, κλειστό κυκλώματος με εξαναγκασμένη κυκλοφορία
- Σχήμα 1.10:** Σύγκριση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος διαφόρων ΑΠΕ (UNDP 2004).
- Σχήμα 1.11:** Παγκόσμια Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων (UNDP 2006)
- Σχήμα 1.12:** Εξέλιξη των πωλήσεων ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα(ΕΒΗΕ)
- Σχήμα 1.13:** Εξέλιξη της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα(ΕΒΗΕ)
- Σχήμα 1.14:** Πεδίο Ηλιακών Συλλεκτών
- Σχήμα 1.15:** Ηλιακός συλλέκτης σε τομή
- Σχήμα 1.16:** Σχηματική λειτουργία θερμοσιφωνικού συστήματος κλειστού κυκλώματος
- Σχήμα 2.1:** Κατασκευαστές Ηλιακών Συλλεκτών Αέρος παγκοσμίως
- Σχήμα 2.2:** Τομή ηλιακού συλλέκτη αέρος
- Σχήμα 2.3:** Εσωτερικό συλλέκτη
- Σχήμα 2.4:** Τομή και λειτουργία ηλιακού συλλέκτη αέρος
- Σχήμα 2.5:** Όψη συλλέκτη
- Σχήμα 2.6:** Πλάγια όψη συλλέκτη
- Σχήμα 2.7:** Πίσω όψη συλλέκτη
- Σχήμα 3.1:** Μετρητική διάταξη του συλλέκτη
- Σχήμα 3.2:** Αξονικός ανεμιστήρας
- Σχήμα 3.3:** Ρυθμιστής στροφών
- Σχήμα 3.4:** Πυρανόμετρο
- Σχήμα 3.5:** Λογισμικό
- Σχήμα 3.6:** Ηλιακή τροχιά περιοχής Αθήνας
- Σχήμα 3.7:** Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια
- Σχήμα 3.8:** Απόδοσης Ηλιακού Συλλέκτη (νερού Α- αέρα Β) συναρτήσει $\Delta T/I$
- Σχήμα 4.1:** Διάγραμμα θερμοκρασιών συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου
- Σχήμα 4.2:** Διάγραμμα στιγμιαίας απόδοσης συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου
- Σχήμα 4.3:** Διάγραμμα μεταβολής διαφοράς θερμοκρασιών συναρτήσει παροχής
- Σχήμα 4.4:** Διάγραμμα απόδοση και ωφέλιμης θερμικής ισχύς συναρτήσει παροχής
- Σχήμα 4.5:** Διάγραμμα αποδιδόμενης θερμικής ισχύς θεωρητικά & πειραματικά συναρτήσει ακτινοβολίας
- Σχήμα 4.6:** Διάγραμμα βαθμού απόδοσης θεωρητικά & πειραματικά συναρτήσει ακτινοβολίας
- Σχήμα 4.7:** Διάγραμμα θερμοκρασιών συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου για συνθήκες κορεσμού
- Σχήμα 4.8:** Διάγραμμα θερμοκρασιών συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου για συνθήκες ελεύθερης φυσικής κυκλοφορίας
- Σχήμα 4.9:** Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας (ΔT) συναρτήσει ακτινοβολίας I για σταθερή παροχή $260 \text{ m}^3/\text{h}$

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.1:** Υλικά κατασκευής ενός ηλιακού θερμοσιφωνικού συστήματος
- Πίνακας 3.1:** Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια
- Πίνακας 4.1:** Συγκεντρωτικός πίνακας παροχών ανά ημ/νια λήψης μέτρησης
- Πίνακας 4.2:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως κύριο σκοπό τον σχεδιασμό και κατασκευή ενός Πρότυπου **Ηλιακού Συλλέκτη Αέρος «ΗΣΑ»**. Πρόκειται για μια συσκευή αρκετά απλή που μετατρέπει την **Ηλιακή Ενεργεία σε Θερμική**. Ο νωπός αέρας με την βοήθεια εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (ανεμιστήρα) προσάγεται εντός του συλλέκτη. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον απορροφητή ο οποίος θερμαίνεται, στην συνέχεια η θερμότητα μεταφέρεται μέσω του φαινομένου της συναγωγής στο ρεύμα αέρα που σαρώνει τον συλλέκτη και τέλος ο ζεστός πλέον αέρας εξέρχεται από τον συλλέκτη για οικιακή ή για βιομηχανική χρήση.

Όπως θα φανεί και στα επόμενα κεφάλαια η εργασία αυτή αποτελεί ένα βήμα για την σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία απλού τύπου ηλιακών συλλεκτών αέρος. Κύριος στόχος ήταν να εντοπίσουμε τις συνθήκες βέλτιστης λειτουργίας για τον πρότυπο Ηλιακό Συλλέκτη Αέρος, δηλαδή να βρούμε με ποια παροχή αέρα ο συλλέκτης λειτουργεί με την μέγιστη απόδοση και να καταγράψουμε την συμπεριφορά του συλλέκτη για τιμές της παροχής κοντά σε αυτή. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται φανερό πως η βέλτιστη παροχή είναι περίπου στα 260 m³/h για συγκεκριμένες συνθήκες με απόδοση 76% .

Η παρακάτω εφαρμογή είναι πολλά υποσχόμενη διότι με πολύ μικρό κόστος υλικών, τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα και με μικρό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης υπάρχει δυνατότητα ικανοποιητικής θέρμανσης χώρων ή προϊόντων κατά την διάρκεια της μέρας εντελώς δωρεάν.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί πως η Ελληνική καθώς η διεθνής βιβλιογραφία είναι αρκετά περιορισμένη στο παραπάνω θέμα καθώς επίσης δεν υπάρχει κάποιο διεθνές πρότυπο για την καταγραφή της απόδοσης αυτού. Τέλος υπάρχουν κάποιες συγγενικές συσκευές όπως «Ξηραντήρες» που απέχουν κατά πολύ από την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Πρέπει να αναφερθεί πως η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε γνωστή Ελληνική Βιομηχανία Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

Α.Π.Ε, Ηλιακή Ενεργεία, Ηλιακός Συλλέκτης, Θερμική Απόδοση, Σχεδιασμός-Κατασκευή Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης Αέρος

ABSTRACT

The present dissertation's main goal is the construction and designing of a prototype Solar Air Collector. It is a quite simple device that transforms Solar Energy into Thermal. The fresh air with the help of forced circulation (fan) is brought inside the collector, where through the phenomenon of heat transfer (convection) take place and Solar Thermal Energy is transmitted to the air flow. Hot now air is coming out of the collector for domestic or industrial use. As it will be obvious in the next chapters, this dissertation is a step towards the designing and manufacture of solar air collectors. The main goal is to trace the conditions in which the Solar Air Collector functions best, namely to find out with which air supply the collector functions with the best efficiency and to record the conduct of the collector for rates of the supply approaching it. The results showed that the best efficiency is about 76% with air supply 260 m³/h.

The following application is very promising because with very low cost of material, which are widely spread, and with even smaller cost of installation and maintenance, a satisfying and totally free heating of spaces or products is possible during daytime .

Finally, it should be pointed out that both Greek and international bibliography are rather limited about the aforementioned matter. There are some relative devices like Dryers, though they are far off the current application.

It should be mentioned that the application took place in a well known Greek Industry of Solar thermal systems.

KEYWORDS:

Renewable energy, Solar energy, Flat Solar air heater, Thermal performance, Construction-design Flat Solar air heater

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε όσους έβαλαν από ένα χεράκι και ειδικότερα τον Σουχίλ την Κατερίνα και την Εύη

Αφιερώνεται στην κινητήρια δύναμη της κοινωνίας, την ανάγκη...

ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ- ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Κομβικό ρόλο στην εξέλιξη της οικονομίας και της κοινωνίας(σχέση διαλεκτική βάση με εποικοδόμημα) αποτελεί η ενέργεια. Είναι ενδεικτικό ότι η οικονομική μεγέθυνση μιας κοινωνίας, η πρόοδος της και η άνοδος του μέσου βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού της συνδέονται άμεσα με την ενεργειακή χρήση.

Οι ενεργειακοί πόροι ανέκαθεν έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ανθρώπινης κοινωνίας. Από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, η ενέργεια έχει γίνει κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη του μοντέρνου πολιτισμού. Η τεχνολογική ανάπτυξη και η χρήση ενέργειας με την αύξηση του πληθυσμού στον κόσμο είναι ισχυρά αλληλένδετες. Η βιομηχανική επανάσταση ειδικά, με την ανάπτυξη που δημιουργήθηκε χάρη στις ατμομηχανές και τον ατμοστρόβιλο στο τέλος του 19ου αιώνα, επέφερε μια επανάσταση στην επιστήμη και ξεκίνησε μια δραστική αύξηση στην κατανάλωση καθώς και στον πληθυσμό της ανθρωπότητας.

Η προσεκτική μελέτη της ανάπτυξης της τεχνικής οδήγησε τον Β.Ι ΛΕΝΙΝ [1], ακόμα πριν από τον Α παγκόσμιο πόλεμο, στη θέση ότι η σύγχρονη πρωτοπόρα τεχνική είναι σε τελευταία ανάλυση, ενεργειακή τεχνική, τεχνική του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη κάτω από διαφορετικές μορφές, αντικαθιστώντας όλο και περισσότερο τη μυϊκή δύναμη του ανθρώπου, αποτελεί έναν από τους βασικούς τεχνικούς όρους της παραγωγής, αλλά και της προόδου της ανθρώπινης κοινωνίας για αυτό άλλωστε ο εξηλεκτρισμός της χώρας ήταν το πρώτο καθήκον της σοβιετικής κοινωνίας.

Ο White [1959] αναφέρει τρεις παράγοντες που σχετίζονται με την πρόοδο του πολιτισμού. Αυτοί είναι α) ο δείκτης της ενεργειακής έντασης, δηλαδή η κατανάλωση ενέργειας ανά άτομο, β) η αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών μέσων με τα οποία η ενέργεια δεσμεύεται και αξιοποιείται και γ) το μέγεθος των αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών. **Η πρόοδος δηλαδή του πολιτισμού συνδέεται άμεσα με την κατά κεφαλή κατανάλωση της ενέργειας και την αποτελεσματικότητα των μηχανικών μέσων αξιοποίησης της.** Η εξέλιξη και μόνο των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο για το βαθμό που μια οικονομία ακολούθησε τους ρυθμούς της βιομηχανικής επανάστασης. Η μετάβαση από τη βιομηχανική επανάσταση στην τεχνολογική επανάσταση αναδεικνύει ακόμα περισσότερο το ρόλο της ηλεκτρικής ενέργειας, καθότι το σύνολο των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων μας εξαρτάται άμεσα από τη διάθεση ηλεκτρικής ισχύος. Η πορεία δηλαδή της ανθρωπότητας ταυτίζεται με μια αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και πολύ περισσότερο με μια απότομα αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, η ηλεκτρική ενέργεια, ως προϊόν μετατροπής από κάποια άλλη μορφή ενέργειας, αναδεικνύει με τη σειρά της την **αυξανόμενη σπουδαιότητα της πρωτογενούς μορφής ενέργειας.**

Μέχρι σήμερα, οι ηλεκτρικές μας ανάγκες καλυπτόταν από την εκμετάλλευση των «πλούσιων» κοιτασμάτων άνθρακα και πετρελαίου κυρίως και φυσικού αερίου δευτερευόντως. Σημαντική επίσης, είναι η επικουρική χρήση πυρηνικής και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το σκοπό αυτό. Όμως, καθότι τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου μειώνονται ταχύτατα και επιπλέον η ύπαρξη τους περιορίζεται σε πολύ λίγες χώρες, αναδεικνύονται κίνδυνοι διάθεσης, ασφάλειας εφοδιασμού και τιμολόγησης πρωτογενούς μορφής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Κυρίως για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα και την Αιολική Ενέργεια. Μία από τις κύριες αιτίες είναι πως υπάρχει νέος χώρος κερδοφορίας των πολυεθνικών που δραστηριοποιούνται σε αυτές και λιγότερο για λόγους περιβάλλοντος και ακόμα λιγότερο για την κάλυψη των λαϊκών ενεργειακών αναγκών. Αξίζει να σημειωθεί το εξής: η Ελληνική επικράτεια είναι από τις πρώτες

χώρες (6η Παγκοσμίως) στην χρήση Ηλιακών Θερμοσιφωνικών Συστημάτων τα τελευταία 30 χρόνια. Αυτό δεν έγινε από την προώθηση κάποιας οδηγία της ΕΕ κύρια αιτία στάθηκε η ανάγκη των λαϊκών νοικοκυριών για φθηνό Ζεστό Νερό Χρήσης (ΖΝΧ) και ειδικότερα σε περιοχές με πλούσια ηλιοφάνεια και περιορισμένη σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 1: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.1 Α.Π.Ε

1.1.1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια γίνεται πολύς λόγος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και την αξιοποίησή τους. Η τελευταία κρίση του πετρελαίου, η επικείμενη εξάντληση των ορυκτών ή καυσίμων, η επικινδυνότητα της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως επίσης και η βούληση των κρατών για εθνική και ανεξάρτητη ενεργειακή πολιτική με την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, αλλά και οι πιέσεις από διεθνείς συμφωνίες όπως η συνθήκη του Κιότο για μειώσεις των βλαβερών καυσαερίων, οδηγούν στην χρήση των Α.Π.Ε που δίνουν ή καλύτερα θα μπορούσαν να δώσουν μια ανακούφιση στα παραπάνω προβλήματα. Πηγές ενέργειας όπως η Αιολική, η Ηλιακή, η Γεωθερμική, η χρήση Βιομάζας-Βιοαερίου καθώς και η Υδροδυναμική και σχετικά πρώιμα ακόμα η Κυματική έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, στο οποίο και οφείλουν την ονομασία Α.Π.Ε. [2,3].

Με τον όρο Α.Π.Ε. εννοούμε ότι από την φύση τους αυτές οι πηγές ενέργειας ανανεώνονται διαρκώς και προσφέρονται στον άνθρωπο δωρεάν για εκμετάλλευση. Χρειάστηκαν αρκετοί αιώνες εξελίξεις για βελτίωση των μηχανικών μέσων και της τεχνικής για μετατροπή της ενέργειας στην επιθυμητή μορφή. Για παράδειγμα η δημιουργία του πρώτου αιολικού πάρκου παγκοσμίως ισχύος 5 MW στο οροπέδιο Λασιθίου για άντληση υπόγειων υδάτων χρονολογείται στα τέλη του 19ου αιώνα (εφευρέτης Εμμανουήλ Παπαδάκης ή Σπυρτοκούτις [4]). Παρά ταύτα, άλυτο παραμένει ακόμα και σήμερα το κύριο μειονέκτημά τους που είναι η ανικανότητά τους να εκμεταλλευτούν το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας, φαινόμενο όμως που εξισορροπείται από το γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. είναι ανεξάντλητες.

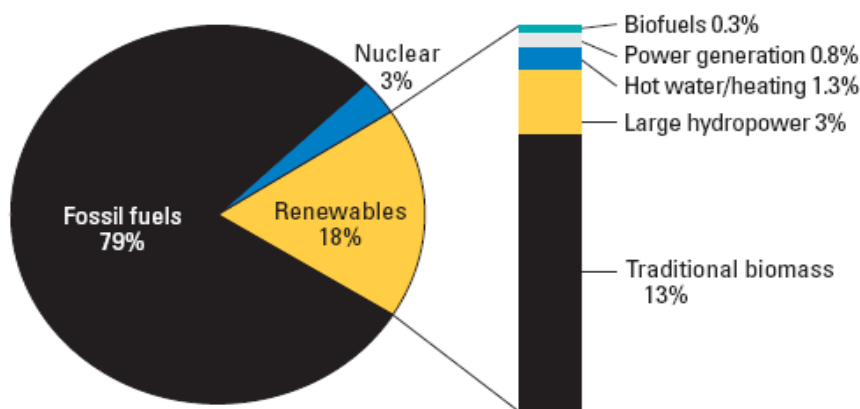
1.1.2 Είδη Α.Π.Ε

Οι Α.Π.Ε χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες εκμεταλλεύονται το ηλιακό δυναμικό (ηλιακή ακτινοβολία), το αιολικό δυναμικό, το δυναμικό βιομάζας, το υδάτινο δυναμικό, το θαλάσσιο δυναμικό και το γεωθερμικό δυναμικό.

Αναλυτικότερα:

- Η ηλιακή ενέργεια, η οποία αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία.
- Η αιολική ενέργεια, η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ανέμων.

- Η βιομάζα, δηλαδή η ενέργεια που πηγάζει από την αξιοποίηση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος κάθε υλικού, που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό ή ζωικό κόσμο.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών.
- Η θαλάσσια ενέργεια, η οποία αξιοποιεί τα παλιρροιακά και θαλάσσια ρεύματα.
- Η γεωθερμική ενέργεια, μέσω της οποίας αξιοποιούνται τα θερμά νερά ή/και ατμοί που υπάρχουν σε υπόγειους ταμιευτήρες της γης.



Σχήμα 1.1: Ποσοστό χρήσης Α.Π.Ε παγκοσμίως, Renewable 2007, Global Status Report

1.1.3 Τα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε :

Στο σχήμα 1.1 φαίνεται χαρακτηριστικά πως η χρήση των Α.Π.Ε δεν ξεπερνά το 18% στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, τα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε [7] συγκριτικά με τις άλλες μορφές είναι:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους πόρους (κυρίως ορυκτά καύσιμα).
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας την δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή και σε μεγάλη κλίμακα αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ χαρακτηρίζονται ως «εντάσεως ενέργειας», συμβάλλουν δηλαδή στη δημιουργία πολλών θέσεων εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. αιολικά πάρκα, εργοστάσια ενεργειακής αξιοποίησης γεωργικής βιομάζας, θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.
- Τέλος, βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Βεβαίως πρέπει να γίνει αναφορά στον τρόπο κατασκευής αυτών των μορφοτροπέων αφού προφανώς δαπανήθηκαν σημαντικά ποσά ενέργειας άρα εκλύθηκε και CO₂. Για παράδειγμα για την κατασκευή φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πλαισίων εκτιμάται πως χρειάζεται 2-4 χρόνια συνεχούς λειτουργίας για να ανταποδώσουν την ενέργεια που χρειάστηκαν για την παρασκευή τους. [6]

1.1.4 Οικονομική Πολιτική για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η Λευκή Βίβλος και η νέα οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία αφορά την ευρωπαϊκή κοινοτική στρατηγική και σχέδιο δράσης, έθεσαν στόχο έως το 2020, το 12% της ενέργειας που παράγεται στην ΕΕ προέρχεται από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και οι εκπομπές άνθρακα να μειωθούν κατά 20%. Ως εκ τούτου, κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει δεσμευθεί να επιτύχει ένα συγκεκριμένο στόχο μέχρι το 2020.

Η Ελλάδα έχει δεσμευτεί ότι έως το 2020, το 20% της κατανάλωσης της ενέργειας πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από 4% το 2008. Για να επιτευχθεί αυτό, Ελληνικό Κοινοβούλιο ψήφισε ένα νόμο που δίνει μια σειρά κινήτρων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για τα Φ/Β συστήματα, η νομοθεσία προβλέπει ότι ένα νοικοκυριό είναι σε θέση να παράγει και να πωλεί ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, στην τιμή των € 0,55 ανά kWh, για 25 χρόνια. Την ίδια στιγμή, το νοικοκυριό αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο € 0,15 ανά kWh. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι τα νοικοκυριά μπορούν να εγκαταστήσουν γεννήτριες με ονομαστική ισχύ μικρότερη από 10 kWp.

1.2 Ηλιακή Ενέργεια

1.2.1 Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας

Είναι γνωστό πως ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Ο Ήλιος (εκ του αβέλιος - αέλιος - ηέλιος = ο ακτινοβολών, ο πυρπολών) είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση " νέφους " θετικών και αρνητικών φορτίων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε.

Σε αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων °C, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συντήκονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση - σύντηξη πυρήνων- είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεραστίων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα.

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ήλιου υπολογίζεται ότι είναι περίπου 6000 K. Η τεράστια αυτή θερμότητα εκπέμπεται στη γη με μέγιστη πυκνότητα ροής ηλιακής ακτινοβολίας περίπου $1,0 \text{ kW/m}^2$ και με μήκος κύματος μεταξύ 0,3 και 2,5 μm . Αυτή είναι η λεγόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος.

Από την άλλη πλευρά, η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα της Γης είναι περίπου 230 K κατά μέσο όρο και στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 260-300 K, η οποία παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας εξαιτίας της εξερχόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που αντανακλάται πίσω στο διάστημα. Αυτή η εξερχόμενη ακτινοβολία εμφανίζεται σε μήκη κύματος υπέρυθρης ζώνης συχνοτήτων μεταξύ 5 και 25 μm .

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη Γη υπολογίζεται σε 5,4 εκατ. exajoules (10^{18} joules). Το 30% αυτής της ακτινοβολίας ανακλάται από την ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο 70% απορροφάται και μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές ενέργειας. Αυτό το 70% (3,8 exajoules) είναι 10.000 φορές το ποσοστό της κατανάλωσης των ορυκτών και πυρηνικών καυσίμων για το 2002.

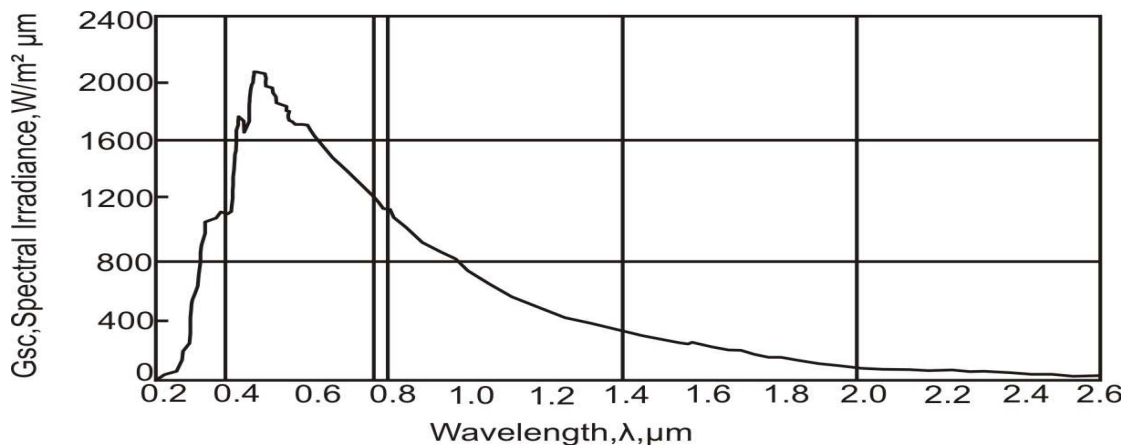
Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος (Irradiance) ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε (W/m^2). Συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα G (ή I). Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από την θέση του ήλιου στον ουρανό, αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια μέση τιμή: $G=1356(\text{W/m}^2)$, και ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα, η μείωση που υφίσταται αυτή, κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

1.2.2 Τα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας

Το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται την ηλιακή ακτινοβολία ως λευκό φως. Στην πραγματικότητα, διαδίδεται με ένα ευρύ φάσμα μήκους κυμάτων, από την υπέρυθη έως την υπεριώδη. Η μορφή της κατανομής του μήκους κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας προσδιορίζεται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου. Η γη, της οποίας η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, εκπέμπει ενέργεια ως μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία στο διάστημα.

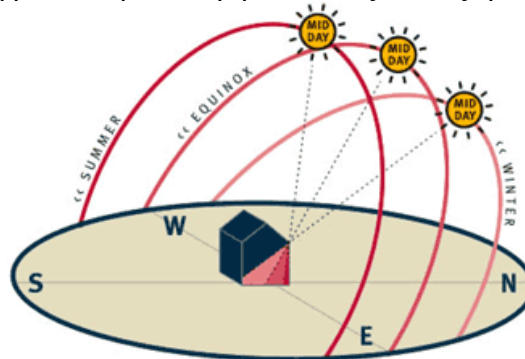
Η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της γης έχει συνήθως ένα μέγιστο της τάξεως του 1100 W/m^2 και εκπέμπεται στο μήκος κύματος μεταξύ 0.29 και 2.5 μm . Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κυμάτων $\lambda < 0.38$, $0.38 < \lambda < 0.78$ και $\lambda > 0.78 \mu\text{m}$. Βλ. σχήμα 1.2



Σχήμα 1.2: Κατανομή ηλιακής ισχύς συναρτήσει μήκος κύματος

1.2.3 Η ηλιακή γεωμετρία και εποχές

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο με τον πολικό της άξονα σε κλίση ως προς το επίπεδο περιστροφής (23.5°). Τον Ιούνιο, η γη βρίσκεται με το βόρειο πόλο προς τον ήλιο. Έτσι, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο βόρειο ημισφαίριο πιο κάθετα και ο ήλιος εμφανίζεται υψηλότερα στον ουρανό. Το Δεκέμβριο, ο βόρειος πόλος έχει απομακρυνθεί (λόγο κλίσης) από τον ήλιο. Οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν περισσότερο πλάγια, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα (Σχήμα 1.3). Ονομάζουμε **ενεργειακή πυκνότητα** την ενέργεια που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της γης μια χρονική στιγμή. Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει τεράστιες διαφορές και είναι σε αναλογία με το χρόνο, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες, την υγρασία, κλπ. Επιπλέον, επηρεάζεται σημαντικά και από άλλους παράγοντες όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος και τις ηλιακές κηλίδες.



Σχήμα 1.3: Πορεία ήλιου

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η τοποθεσία που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια ενός έτους, λόγω της περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο, το ηλιακό ύψος μεταβάλλεται και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της απόκλισης δ° . Η γωνία των ακτινών του ήλιου κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη μεταβάλλεται από $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου. Η κλίση ενός θερμικού συστήματος ή μίας διάταξης Φ/Β πρέπει να είναι εντός αυτών των ορίων και ο καλύτερος προσανατολισμός για τα συστήματα αυτά είναι ο Νότος (Βόρειο ημισφαίριο). Η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα συστήματα αυτά, ανά πάσα στιγμή μπορεί να βρεθεί από τις **εξισώσεις 1.1 και 1.2**

$$(\text{Γωνία κλίσης}) \beta^\circ = (\text{Γεωγραφικό πλάτος}) \varphi^\circ - (\text{Γωνία Απόκλισης}) \delta^\circ \quad (1.1)$$

Όπου

$$\delta^\circ = 23,45 \times \sin \left[360 \times \frac{(284+N)}{365} \right] \quad (1.2)$$

N : η ημέρα του έτους κατ' αύξοντα αριθμό, με αρχή την 1^η Ιανουαρίου

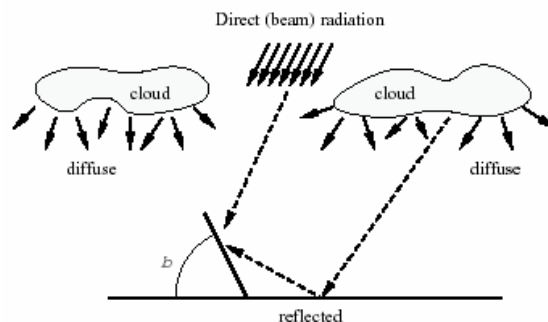
Τέλος όσο πιο χαμηλά βρίσκεται ο ήλιος στον ουρανό, τόσο μεγαλύτερη απόσταση πρέπει να διανύσουν οι ακτίνες στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για διάχυσή τους πίσω στο διάστημα. [7]

1.2.4 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία

Η συνολική ακτινοβολία (global radiation) που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4

- Την άμεση I_b (direct ή beam radiation) που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο.
- Την διάχυτη I_d (diffuse radiation) που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας.
- Την ανακλώμενη I_r (reflected radiation) που προέρχεται από διάφορες όμορες επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια, υψώματα ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος

Επομένως η συνολική ακτινοβολία είναι: $I = I_b + I_d + I_r$



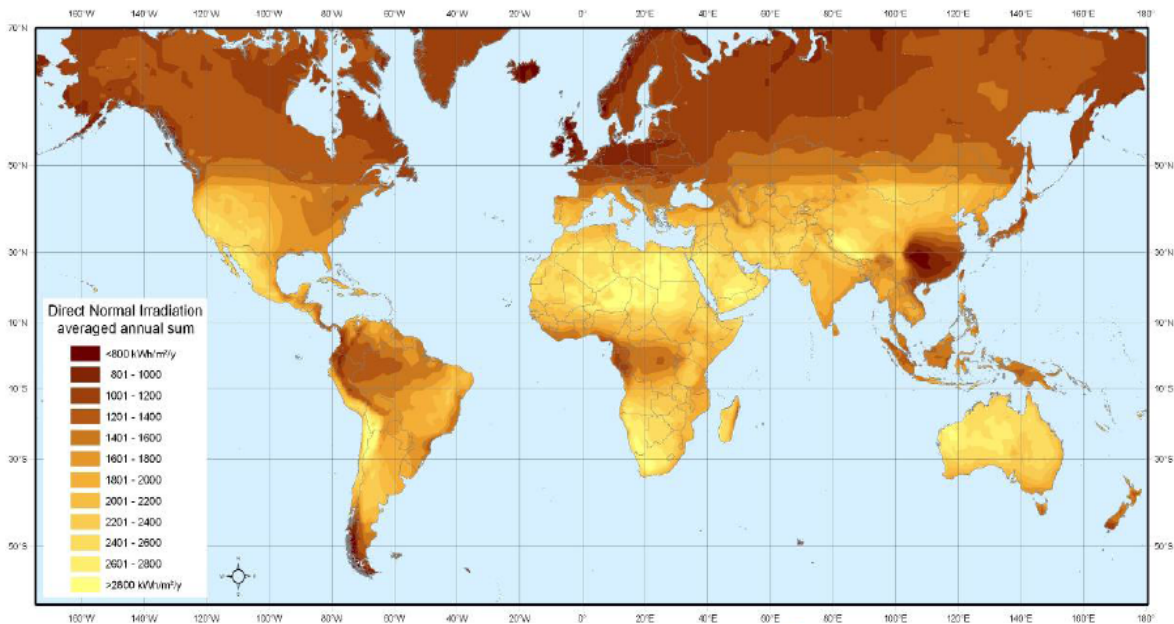
Σχήμα 1.4: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία

Άμεση είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, έχει ορισμένη κατεύθυνση για ορισμένο επίπεδο αναφοράς και ορισμένη χρονική στιγμή. Με καθαρό ουρανό αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς.

Διάχυτη είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του ήλιου, λόγω κάλυψης της ατμόσφαιρας από σύννεφα, υδρατμούς, σκόνη. Για το επίπεδο αναφοράς, δεν έχει ορισμένη κατεύθυνση όπως η άμεση ακτινοβολία, αλλά προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού.

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνικές επιφάνειες, που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Ο Liu (et al, 1962) δέχονται ως δείκτη ανακλαστικότητας του εδάφους $p=0.2$ ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με χιόνι 0.7 .

Στο σχήμα 1.5 φαίνεται παραστατικά η κατανομή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στον πλανήτη



Σχήμα 1.5: Επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και η κατανομή τους στον πλανήτη [10]

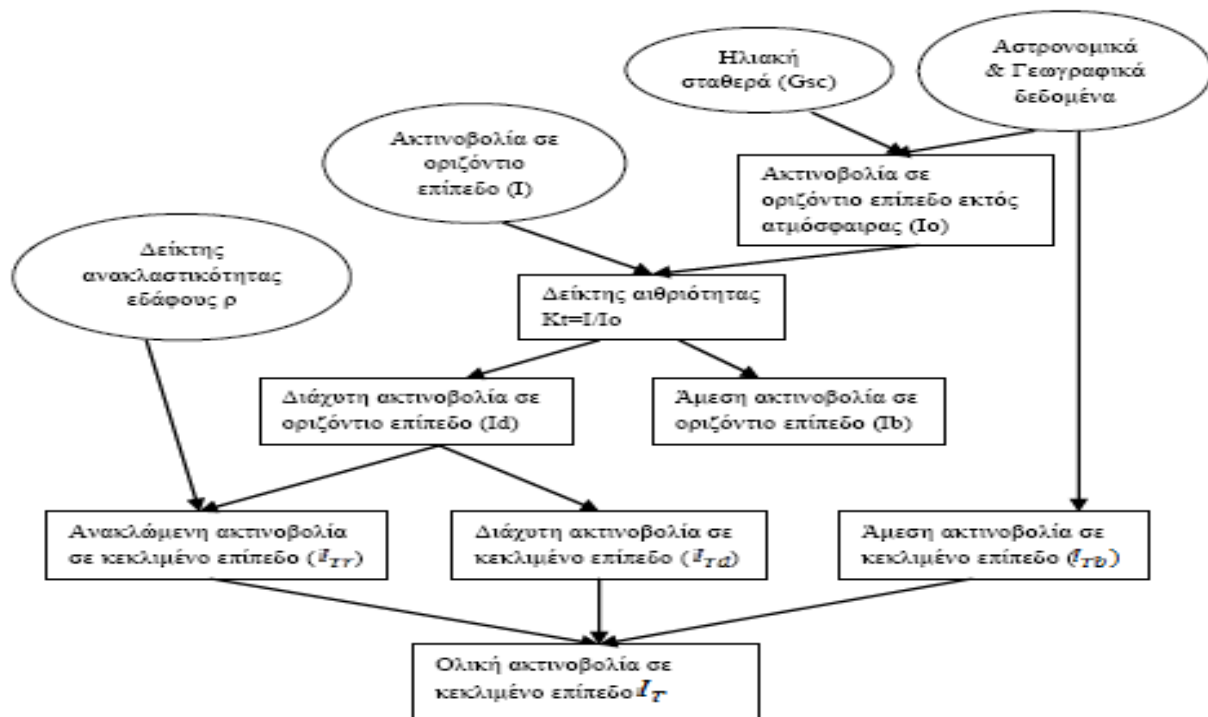
1.2.5 Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας δίνονται με τη μορφή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Ωστόσο, όλα τα Φ/Β και ηλιακά πάνελ είναι συνήθως σε κεκλιμένο επίπεδο, εξ ου και η ακτινοβολία που λαμβάνουν είναι διαφορετική. Η προσέγγιση για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο είναι ένας συνδυασμός των εργασιών του Duffie(1991). Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη για κάθε μία από τις συνιστώσες και ένας διορθωτικός συντελεστής.

Ο διορθωτικός συντελεστής για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (R_b), είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_b), προς αυτήν στο οριζόντιο επίπεδο (I_d). Ο υπολογισμός της συνιστώσας για την διάχυτη ακτινοβολία βασίζεται στην υπόθεση ότι η διάχυτη είναι ισοτροπική, δηλαδή είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη απ' τον ουράνιο θόλο. Ο διορθωτικός συντελεστής για την διάχυτη ακτινοβολία (R_d) είναι ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_b) προς αυτήν στο οριζόντιο I_d . Ο διορθωτικός συντελεστής για την ανακλώμενη ακτινοβολία (R_r), είναι ο λόγος της ανακλώμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_r), προς αυτήν στο οριζόντιο I_r . Η ανακλώμενη όμως στο οριζόντιο επίπεδο είναι το γινόμενο του συντελεστή ανάκλασης ρ του εδάφους της περιοχής μελέτης επί την ολική ηλιακή ακτινοβολία I_T στο οριζόντιο. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και εδώ, υποθέτουμε ότι η ανακλώμενη είναι ισοτροπική.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο :

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I \rho R_r$$



Σχήμα 1.6: Διάγραμμα υπολογισμού ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

1.2.6 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας : (Ζερβός, 2008)

1. Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται **ενεργητικά** ηλιακά συστήματα.

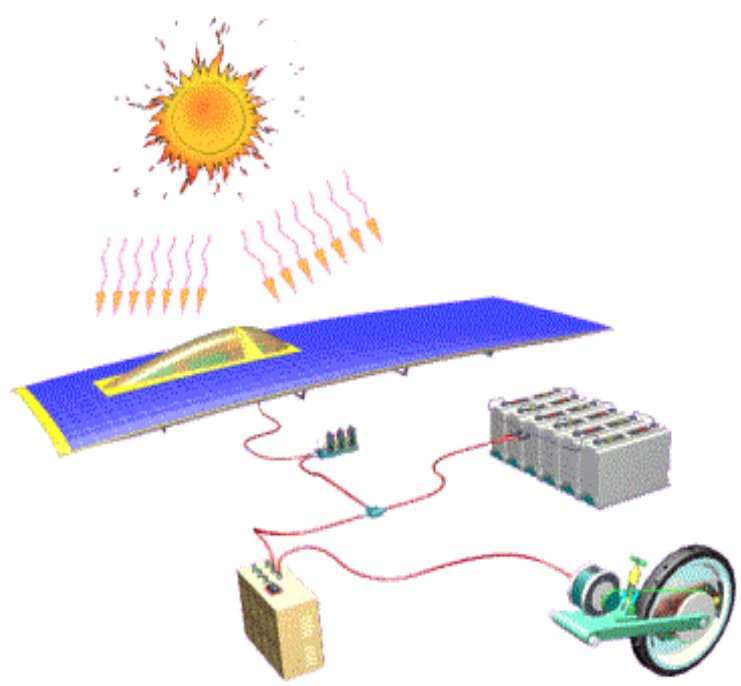
2. Με τα **παθητικά** ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτηρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτηρίων το χειμώνα είτε για το δροσισμό τους το καλοκαίρι.

3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε **ηλεκτρική** με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

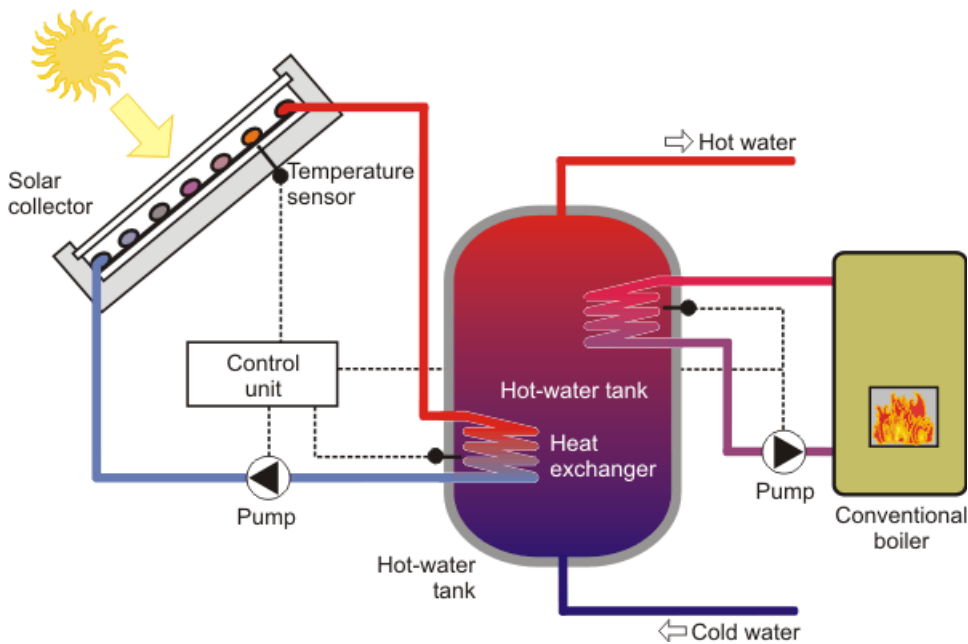
Θα αναπτύξουμε παρακάτω μόνο τα ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα, καθώς σε αυτά ανήκει ο Ηλιακός Συλλέκτης Αέρος που είναι και ο σκοπός της παρούσας μελέτης.



Σχήμα 1.7: Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παθητικά ηλιακά συστήματα)



Σχήμα 1.8: Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παραγωγή Ηλ. Ενέργειας)



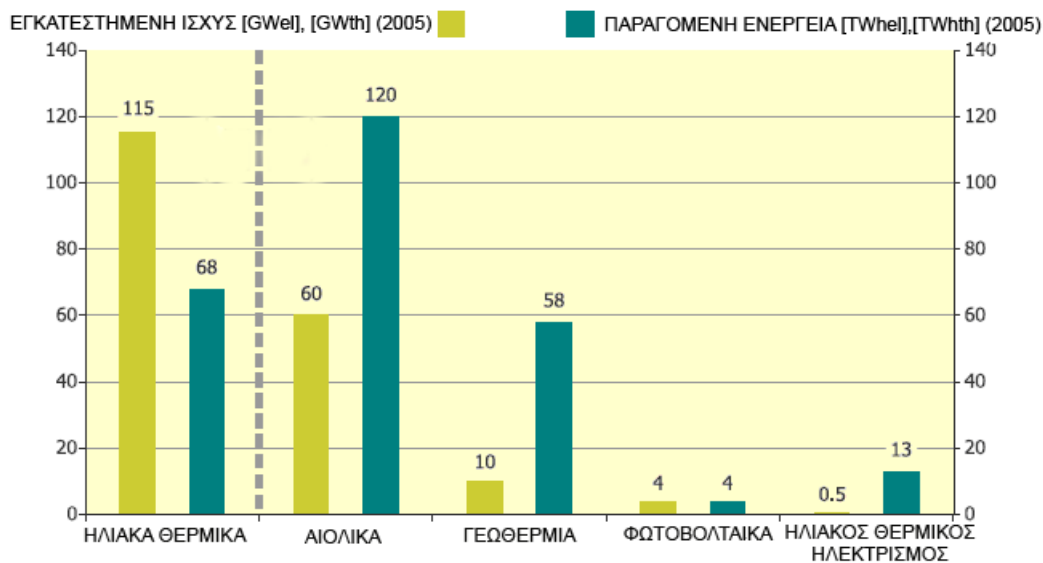
Σχήμα 1.9: Ηλιακά Θερμικά συστήματα, κλειστό κυκλώματος με εξαναγκασμένη κυκλοφορία

1.3 Ενεργητικά Ηλιακά Θερμικά Συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Σήμερα τα ηλιακά θερμικά συστήματα ενσωματώνουν τεχνολογίες που τα καθιστούν αποδοτικά και αξιόπιστα, προσφέροντας ενέργεια για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση χώρων σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές, η θέρμανση νερού κολυμβητικών δεξαμενών, η ηλιακή ψύξη καθώς και η παραγωγή ατμού για βιομηχανικές εφαρμογές όπως και η αφαλάτωση είναι μερικές μόνο από τις εφαρμογές των ηλιακών θερμικών συστημάτων.

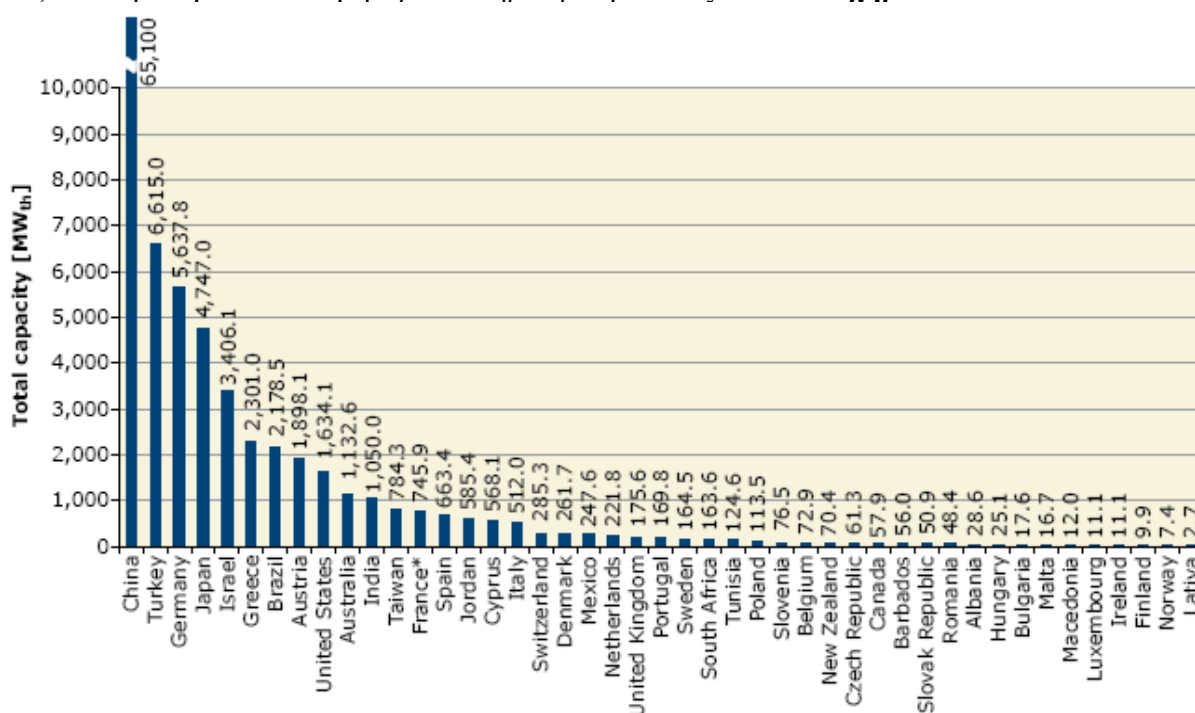
Το ηλιακό δυναμικό το οποίο αξιοποιείται (με τη μορφή θερμότητας) αν και σημαντικό, απέχει πολύ από την πλήρη εκμετάλλευσή του. Η συμβολή των ηλιακών θερμικών συστημάτων συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΑΠΕ παρουσιάζόταν στο **Σχήμα 1.10**, η διείσδυση των θερμικών συστημάτων όπως παρατηρούμε είναι σχεδόν είναι ισότιμη με αυτή των αιολικών και μεγαλύτερη των Φ/Β.



Σχήμα 1.10: Σύγκριση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος διαφόρων ΑΠΕ (UNDP 2004).

Το εγκατεστημένο θερμικό ηλιακό δυναμικό δεν συμπεριλαμβανόταν συνήθως στις ενεργειακές στατιστικές λόγω της ανομοιογένειας των μονάδων μέτρησης. Για το λόγο αυτό, μετά από σχετική διερεύνηση και πρόταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ηλιακών Θερμικών Βιομηχανιών (ESTIF) που έγινε αποδεκτή από πολλούς φορείς, υιοθετήθηκε ένας συντελεστής μετατροπής της συλλεκτικής επιφάνειας σε θερμική ισχύ, ο οποίος ορίστηκε, για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες ίσος με 0.7 kWth m^2 (IEA-SHC, 2005). Έτσι, η επιφάνεια συλλέκτη ίση με 1 m^2 αντιστοιχεί σε 0.7 kWth , με την ίδια λογική που ορίζεται η ισχύς αιχμής (Peak power) για τα φωτοβολταϊκά.

Υπολογίζεται ότι σήμερα στον κόσμο είναι σε λειτουργία περίπου 182.5 εκ. m^2 θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, ενώ η αγορά εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 26.1 εκ. m^2 το χρόνο (IEA-SHC, 2008). Η παγκόσμια κατανομή Εγκατεστημένη παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.11



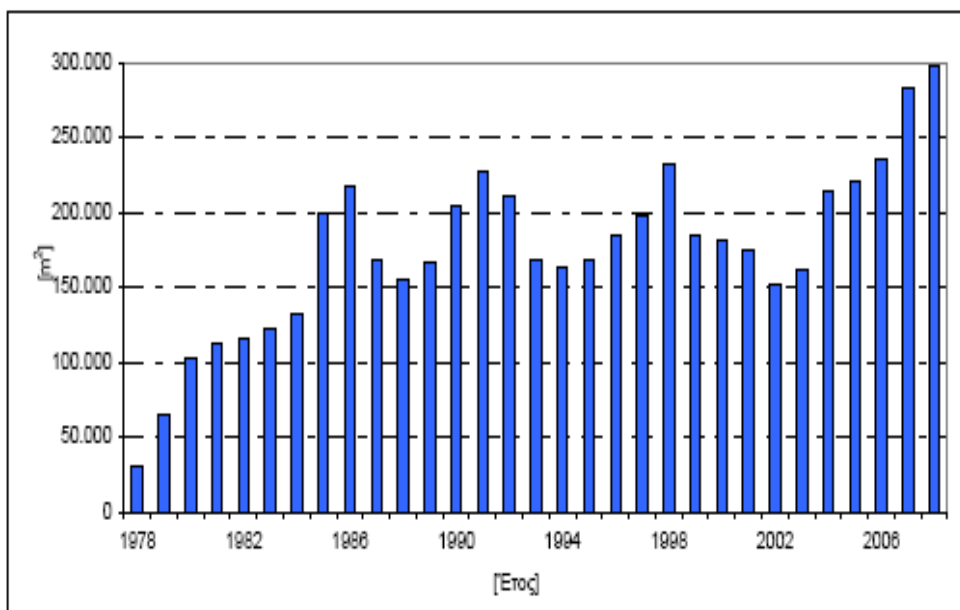
Σχήμα 1.11: Παγκόσμια Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων (UNDP 2006)

Τόσο τα τελευταία στοιχεία για την εξέλιξη των αγορών, όσο και οι εκτιμήσεις διαφόρων φορέων που ασχολούνται με την διερεύνηση των τάσεων στις αγορές, συγκλίνουν στο ότι τα επόμενα χρόνια η αγορά θα συνεχίσει να κινείται με ανοδικό ρυθμό.

Μια εφαρμογή που κερδίζει έδαφος στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα (π.χ. απευθείας χρήση σε Fan coil unit, ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας). Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτηρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

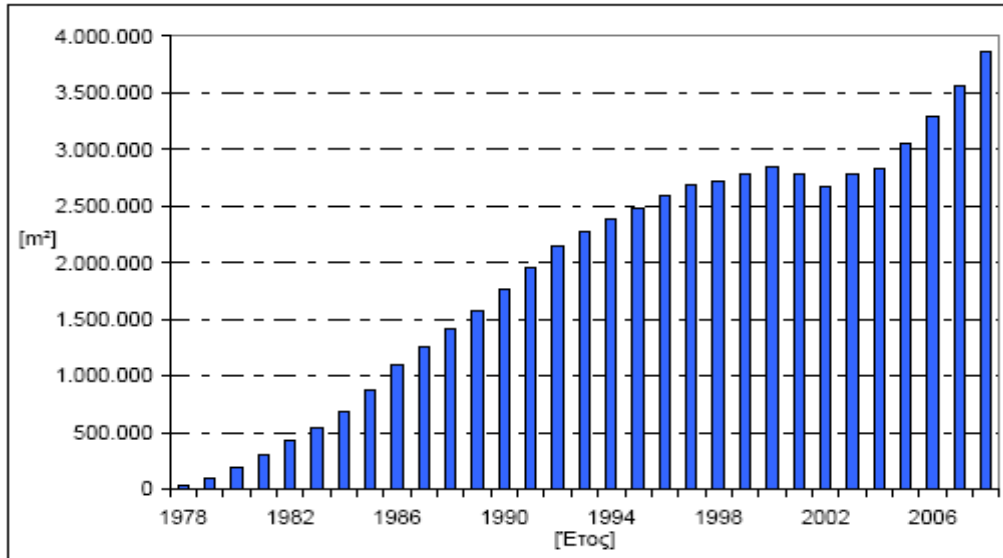
1.3.1 Ηλιακά Θερμικά Συστήματα στην Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί παγκοσμίως μια από τις πρωτοπόρες χώρες στη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων είναι θερμοσιφωνικά. Για μεγάλο διάστημα κατείχε την πρώτη θέση στην κατά κεφαλή εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών στην Ευρωπαϊκή Ένωση και σχετικά πρόσφατα ξεπεράστηκε από την Κύπρο και την Αυστρία (ESTIF, 2008), (ESTIF, 2003). Στις μέρες μας, τα ηλιακά θερμοσιφωνικά συστήματα χρησιμοποιούνται από περισσότερες από 850.000 οικογένειες, σχεδόν το 25% του συνόλου (ESTIF, 2003), ενώ η Ελληνική αγορά εκτιμάται σε 298.000 m² για το 2008 (ESTIF, 2008). Στα τέλη του 2008, η συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα ανέρχονταν σε 3.87 εκατ. m². Το 99% αυτών αφορά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού κλειστού κυκλώματος (ESTIF, 2003), (EBHE, 2003). Κατά τη περίοδο 1975–1984 έγιναν οι πρώτες μαζικές πωλήσεις ηλιακών συλλεκτών, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης καθώς και της υιοθέτησης από την ελληνική κυβέρνηση κινήτρων για τους χρήστες, με αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της εγκατεστημένης επιφάνειας. Κατά την αμέσως επόμενη περίοδο 1984–1986, οι πωλήσεις κυμαίνονταν στα 220.000 m² ετησίως ως αποτέλεσμα μεγάλης διαφημιστικής καμπάνιας με χορηγό το ελληνικό κράτος, αλλά και εξαιτίας του φόβου ότι ο φόρος προστιθέμενης αξίας (ΦΠΑ), που για πρώτη φορά θα εφαρμόζονταν την 1^η Ιανουαρίου 1987 θα αύξανε τις τιμές των συστημάτων.



Σχήμα 1.12 Εξέλιξη των πωλήσεων ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα

Την περίοδο αυτή όλα τα συστήματα κατασκευάζονταν από εγχώριες βιομηχανίες και ένα πολύ μικρό ποσοστό εισάγονταν, κυρίως από το Ισραήλ. Από το 1987 έως το 1993 οι πωλήσεις παρέμειναν σταθερές και η εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών αυξάνεται με σταθερό ρυθμό. Μία μεγάλης κλίμακας διαφημιστική καμπάνια με χορηγούς την Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας (ΕΒΗΕ) και τον Οργανισμό για την Προώθηση των Ελληνικών Προϊόντων βελτίωσε την εικόνα της αγοράς. Το κίνητρο της έκπτωσης φόρου διατηρήθηκε μέχρι το 1991 οπότε και καταργήθηκε. Η συνεχώς αυξανόμενη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος, η επιβολή του ΦΠΑ και οι πολλές υποτιμήσεις του εθνικού νομίσιματος κατά τη περίοδο αυτή μπόρεσαν να προστατεύσουν την αγορά από μία πτωτική πορεία. Η οικονομική κρίση που επήλθε στις αρχές του '90, οι κυβερνητικές παρεμβάσεις για τη μείωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος, η ελλιπής προώθηση των ηλιακών συστημάτων από τη βιομηχανία και η κατάργηση των οικονομικών κινήτρων από την κυβέρνηση είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση των πωλήσεων προς το τέλος 2000. Από το 1994 έως το 2004 η αγορά ηλιακών συστημάτων ήταν πρακτικά σταθερή (Εικόνα 1.3) (ESTIF, 2003), (ΕΒΗΕ, 2003), (ΙΟΒΕ, 1985) με τις νέες αγορές να αφορούν ουσιαστικά αντικατάσταση παλιών συστημάτων και όχι νέες εγκαταστάσεις, ενώ τα τελευταία χρόνια η αγορά παρουσιάζει ανοδικές τάσεις. **Σχήμα 1.12 & Σχήμα 1.13**



Σχήμα 1.13 Εξέλιξη της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα

Μετά την συνδιάσκεψη στο Ρίο και την υπογραφή της συμφωνίας σχετικά με την κλιματική αλλαγή, η Ελληνική κυβέρνηση στην προσπάθειά της να συμμετάσχει στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, δημιούργησε δύο προγράμματα για την μείωση των συνεπειών λόγω κλιματικής αλλαγής). Το 2002 ολοκληρώθηκε το δεύτερο πρόγραμμα, το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή το 2003. Σε αυτό ορίζονται τα μέτρα και η πολιτική που πρέπει να ακολουθηθούν τα οποία συμπεριλαμβάνουν, την υιοθέτηση κινήτρων για εγκατάσταση και χρήση ηλιακών θερμικών συστημάτων στον ευρύτερο κτηριακό τομέα, για την επίτευξη των στόχων που έθεσε η χώρα στο Κιότο (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2003).

Ένας από τους στόχους που ορίστηκαν ήταν η αύξηση της χρήσης ηλιακών θερμικών συστημάτων στον οικιακό τομέα. Σύμφωνα με αυτή τουλάχιστον το 35% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης θα έπρεπε να καλυφτεί από ηλιακά συστήματα μέχρι το 2010, δηλαδή, περίπου 1.37 GWhel (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2003).

Σύμφωνα με την ESTIF το τεχνικό δυναμικό της χώρας υπολογίζεται σε περίπου 28.5 εκατομμύρια m² (ESTIF, 2003). Η εκτίμηση αυτή θεωρεί τεχνικά δυνατή την εγκατάσταση 2.7 m² συλλεκτικής επιφάνειας για κάθε άτομο στην Ελλάδα, χωρίς να λαμβάνει υπόψη φυσικούς περιορισμούς που δυσκολεύουν την δυνατότητα εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων, οι οποίοι περιορίζουν το μέγιστο τεχνικό δυναμικό σε περίπου 9.73 εκατομμύρια m² (Tsilingiridis, 2010).

Η μελέτη της ESTIF εκτιμούσε ότι για την περίοδο 2005-2010, ο ετήσιος ρυθμός αύξησης θα κυμαινόταν μεταξύ 7 και 9.5%, κάτι που θα οδηγούσε σε συνολικά εγκατεστημένη επιφάνεια 5.13 - 6.32 εκατομμύρια m² ηλιακών συλλεκτών. Στην πραγματικότητα ο ρυθμός αύξησης δεν ξεπέρασε το 6%, με εξαίρεση το 2007, με αποτέλεσμα τα 4.2 εκατομμύρια m² να αποτελούν μια πιο ρεαλιστική πρόβλεψη.

1.3.2 Ηλιακοί Συλλέκτες

Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη μορφή ηλιακού συλλέκτη είχε κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1909 από τον William J. Bailey στην Καλιφόρνια. Χρησιμοποιήθηκε η αρχή φυσικής κυκλοφορίας (θερμοσιφωνικά), για την κυκλοφορία του ζεστού νερού και είχε μια δεξαμενή με μόνωση για να κρατήσει το νερό ζεστό καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Η εταιρεία του Baily ονομάστηκε 'Day and Night' «Εταιρία ηλιακής θέρμανσης νερού». Έκλεισε την επιχείρησή του κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1920, λόγω της ανακάλυψης του φθηνού φυσικού αερίου. Αύξηση στις πωλήσεις ηλιακών συλλεκτών συνέβη στην δεκαετία του 1970 λόγω της ανόδου της τιμής του πετρελαίου. Τώρα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος συλλεκτών για οικιακή ηλιακή θέρμανση νερού. Πάνω από 57 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών έχουν εγκατασταθεί σε παγκόσμιο επίπεδο.



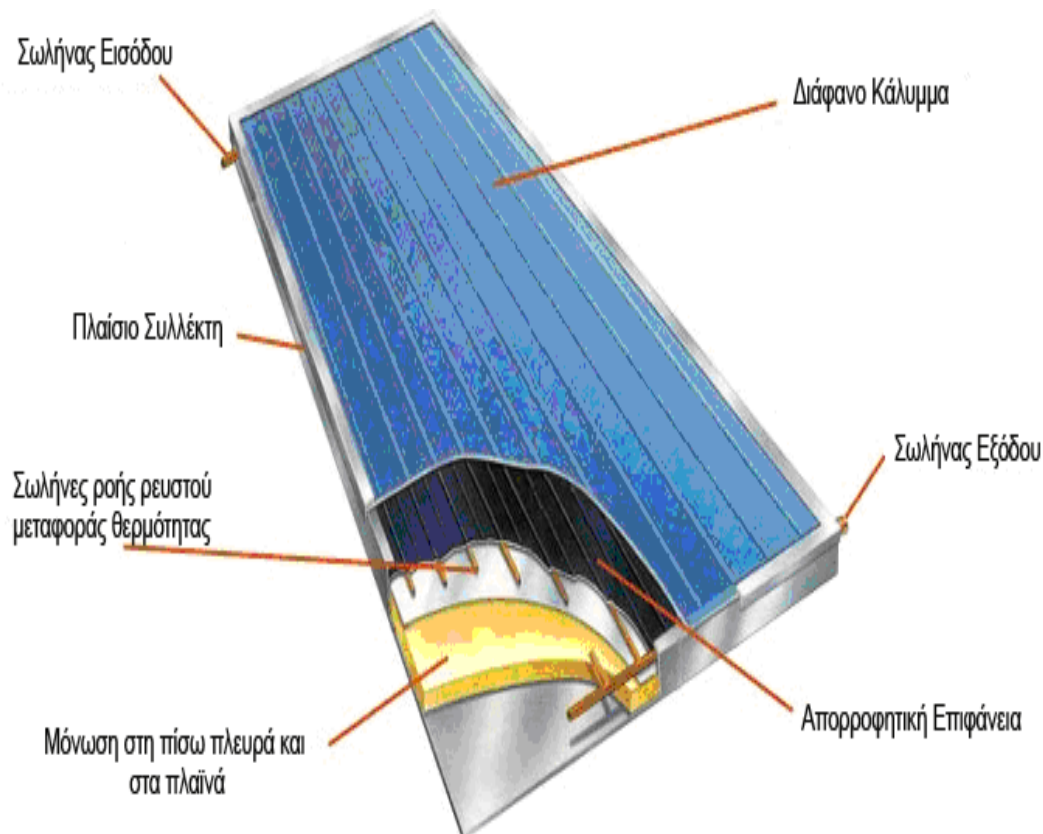
Σχήμα 1.14: Πεδίο Ηλιακών Συλλεκτών για χρήση ηλιακής θέρμανσης –Ψύξης στο εργοστάσιο καλλυντικών του Σαράντη στα Οινόφυτα. Παγκόσμια προτυπία .

1.3.3 Βασικές Αρχές Λειτουργίας Συλλέκτη

Παρά τις όποιες προσπάθειες ανάπτυξης νέων τύπων, ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εξακολουθεί να κυριαρχεί στην αγορά. Στην Ευρώπη για παράδειγμα το 95% των συλλεκτών που τοποθετήθηκαν το 2008 ήταν επίπεδοι (ESTIF, 2009). Κύριο πλεονέκτημα των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι ότι συνδυάζουν χαμηλό σχετικά κόστος με μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως θέρμανση χώρου και ζεστού νερού χρήσης αλλά και βιομηχανικές εφαρμογές. Οι συλλέκτες αυτοί, εκμεταλλεύονται τόσο την άμεση όσο και την διάχυτη ακτινοβολία με αποτέλεσμα ένας καλά σχεδιασμένος και κατασκευασμένος συλλέκτης να έχει την δυνατότητα να προσδώσει θερμοκρασία κοντά σε αυτή του βρασμού στο νερό.

Στους επίπεδους συλλέκτες η επιφάνεια συλλογής συμπίπτει με την επιφάνεια μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια επιδιώκεται η βελτίωση του βαθμού απόδοσης η με μείωση των απωλειών ή με αύξηση του λόγου της απορροφητικότητας στο ηλιακό φάσμα προς την εκπεψιμότητα στο μακρινό υπέρυθρο.

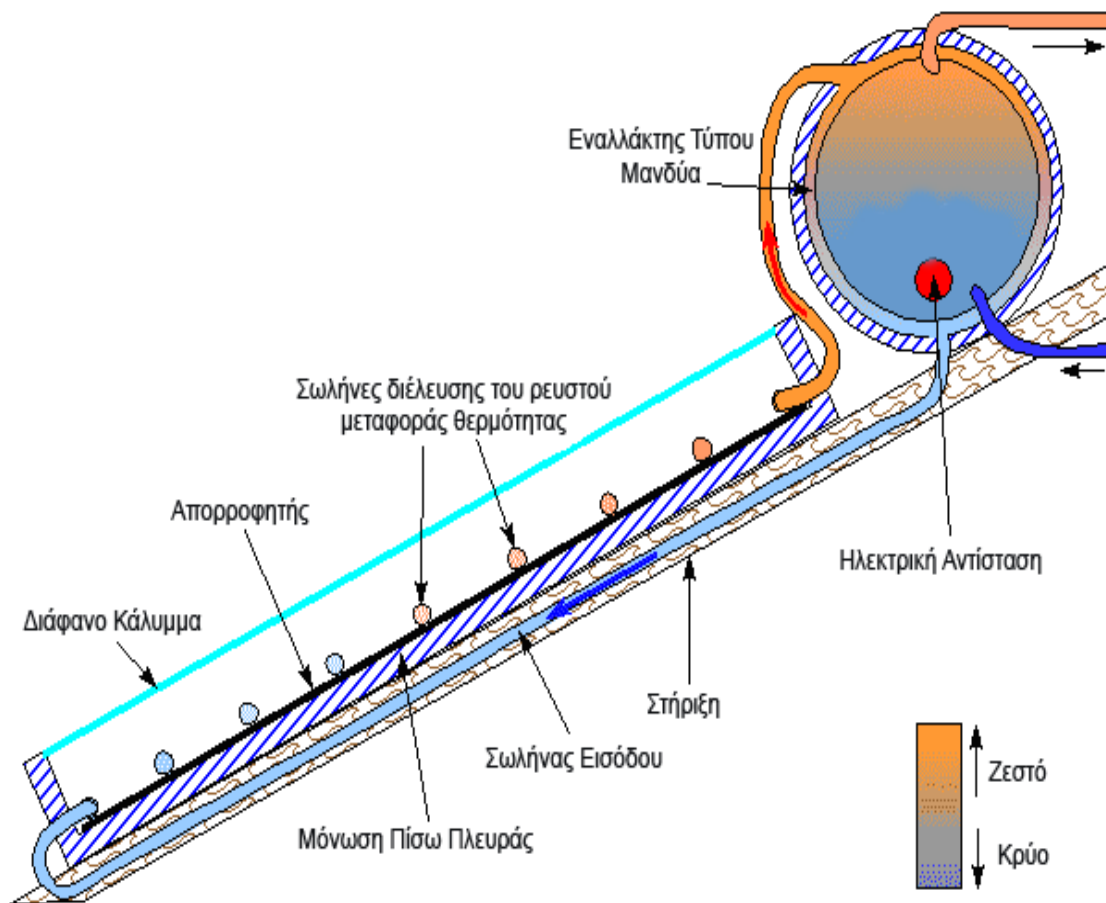
Οι τυπικοί επίπεδοι συλλέκτες αποτελούνται από τη μαύρη απορροφητική επιφάνεια στην οποία γίνεται μετατροπή της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται σε θερμότητα, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό. Ο απορροφητής καλύπτεται στην πάνω πλευρά από ένα διάφανο κάλυμμα με στόχο τη μείωση των απωλειών λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας προς την ατμόσφαιρα. Για τον ίδιο λόγο, η πλάτη και τα πλαϊνά του απορροφητή είναι μονωμένα και ο απορροφητής έχει ενσωματωμένους και τους αγωγούς διέλευσης του ρευστού. Όλα τα παραπάνω βρίσκονται «συσκευασμένα» σε ένα μεταλλικό συνήθως πλαίσιο που προσφέρει ακαμψία **Σχήμα 1.15**.



Σχήμα 1.15: Ηλιακός συλλέκτης σε τομή

Για την κατασκευή των επίπεδων συλλεκτών χρησιμοποιείται μια πληθώρα υλικών στην οποία περιλαμβάνονται ο χαλκός, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, διάφορα είδη γυαλιού, μονωτικά κ.α. Ειδικά τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην απορροφητική επιφάνεια αλλά και τα διαφανή υλικά που την καλύπτουν παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συλλέκτη καθώς οι ιδιότητες τους με το πέρασμα του χρόνου υποβαθμίζονται επηρεάζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό την απόδοσή τους (Kohl et al, 2004, 2005). Πιθανή συμπύκνωση υγρασίας στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος ή ανάμεσα σε δύο καλύμματα μειώνει την διαπερατότητα με αποτέλεσμα μείωση της απόδοσης του συλλέκτη εξαιτίας της λιγότερης διατιθέμενης ακτινοβολίας για απορρόφηση (Kehrer et al, 2003). Επίσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των συλλεκτών δεν πρέπει να περιέχουν πτητικές ουσίες διότι κατά τη λειτουργία σε περιόδους υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να εξατμισθούν και να συμπυκνωθούν στην συνέχεια στην εσωτερική πλευρά του διάφανου καλύμματος μειώνοντας την διαπερατότητα.

Τέλος, σημαντική μέριμνα πρέπει να ληφθεί και για την αντοχή του συλλέκτη η οποία πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει την διαδικασία μεταφοράς, εγκατάστασης καθώς και στα καιρικά φαινόμενα. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας **Σχήμα 1.16:** με συνολική απόδοση μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα περίπου 30 – 40% (Close, 1962). Τα πιο κοινά υλικά κατασκευής ενός ηλιακού συστήματος αναφέρονται στον παρακάτω **πίνακα 1.1:**



Σχήμα 1.16: Σχηματική λειτουργία θερμοσιφωνικού συστήματος κλειστού κυκλώματος

Πίνακας 1.1: Υλικά κατασκευής ενός ηλιακού θερμοσιφωνικού συστήματος

Υλικά κατασκευής ενός συστήματος θερμοσιφωνικού Συστήματος:

Υλικά απορροφητή	Χαλυβδοέλασμα ή ανοξειδωτη λαμαρίνα Πτερύγια αλουμινίου ή χαλκού με σωλήνες ανοξειδωτου χάλυβα Σωλήνες χαλκού εκτονωμένοι σε πτερύγια αλουμινίου Σωλήνες χαλκού εκτονωμένοι σε πτερύγια χαλκού
Επιφάνεια απορροφητή	Επικάλυψη με μαύρη βαφή Επικάλυψη με επιλεκτική βαφή
Μόνωση Συλλέκτη / Δοχείου	Υαλοβάμβακας σε συνδυασμό με Πολυουρεθάνη (PU-non CFC) Πολυουρεθάνη (PU-non CFC)
Υλικό καλύμματος	Ηλιακό Γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο 3 - 5 mm Πολυκαρβονικό ή Ακρυλικό Διάφανο κάλυμμα
Πλαίσιο συλλέκτη	Αλουμίνιο Ανοξειδωτος χάλυβας
Δεξαμενή αποθήκευσης	Χαλυβδοέλασμα με εσωτερική υάλωση ή Χαλκός Ανοξειδωτος ή Γαλβανισμένος χάλυβας
Κάλυμμα δεξαμενής	Αλουμίνιο Ανοξειδωτος χάλυβας ή Χαλυβδοέλασμα

Ο απορροφητής αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει την απορροφητική επιφάνεια και τους αγωγούς κυκλοφορίας του ρευστού μαζί με το ρευστό. Η αποδοτική λειτουργία του απορροφητή καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό και από τη διαμόρφωσή του. Για την κατασκευή της απορροφητικής επιφάνειας χρησιμοποιούνται συνήθως μέταλλα, όπως χαλκός, αλουμίνιο, χάλυβας (ανοξειδωτος ή μη) εξαιτίας του σχετικά χαμηλού κόστους τους, της υψηλής αντοχής τους και των καλών θερμομηχανικών ιδιοτήτων τους. Επειδή σε γενικές γραμμές η απορροφητικότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της απορροφητικής επιφάνειας δεν είναι μεγάλη, στην επιφάνειά τους τοποθετείται κατάλληλη επικάλυψη υψηλής απορροφητικότητας (*Koltun et al, 1994*). [22]

Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών προς το περιβάλλον, γίνεται χρήση μονωτικών υλικών στην πίσω πλευρά και στα πλαϊνά του ηλιακού συλλέκτη. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ποικίλουν. Ο υαλοβάμβακας υψηλής ποιότητας και ο πετροβάμβακας εμφανίζουν καλές μονωτικές ιδιότητες και αντοχή στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον συλλέκτη. Όπως όλα τα μονωτικά υλικά είναι απαραίτητο να προστατευθούν από την υγρασία. Χρησιμοποιούνται σε πάχη μέχρι και 50 mm καθώς το όφελος για μεγαλύτερα πάχη είναι μηδαμινό (*De Winter., 1990*). [23]

Κεφάλαιο 2

Σχεδιασμός και Κατασκευή Ηλιακών Συλλεκτών Αέρα

2.1 Εισαγωγή στους Ηλιακούς Συλλέκτες Αέρος (ΗΣΑ)

Οι (συμβατικοί) ηλιακοί συλλέκτες είναι εξαιρετικά διαδεδομένοι στην Ελλάδα, προφανώς ο λόγος προκύπτει από την μεγάλη ηλιοφάνεια στην χώρα μας κατά την διάρκεια του έτους. Ενώ οι συμβατικοί συλλέκτες με νερό είναι διαδεδομένοι ένας άλλος συλλέκτης αυτός με αέρα σχεδόν απουσιάζει από την καθημερινότητα μας. Είναι πολύ γνώριμο πως αν αφήσουμε μια μαύρη επιφάνεια στον ήλιο αυτή μετά από λίγο θα αρχίσει να ζεσταίνεται σε σημείο που δεν θα μπορούμε να την ακουμπήσουμε, αυτή είναι και αρχή λειτουργίας των απορροφητών. Αν τώρα σε αυτήν την επιφάνεια «σπρώξουμε» και αεράκι αυτό θα ζεσταθεί.

Οι Ηλιακοί Συλλέκτες Αέρος (ΗΣΑ) αποτελούν αυτήν την στιγμή παγκοσμίως ένα νέο προϊόν με σχετικά μικρή εμπειρία χρήσης. Στον χάρτη παρακάτω αποτυπώνονται οι κατασκευαστές ΗΣΑ παγκοσμίως [24]. Να σημειώσουμε πως ο διαχωρισμός γίνεται σε δυο βασικούς τύπους, σε αυτούς με κάλυμμα (με τους οποίους θα ασχοληθούμε αναλυτικά) και σε αυτούς χωρίς κάλυμμα. Από τον παρακάτω χάρτη προκύπτει ότι Βόρειες χώρες (ψυχρές) όπως Καναδάς και Γερμανία έχουν την πιο ανεπτυγμένη βιομηχανία κατασκευής ΗΣΑ, αντιθέτως Νότιες χώρες με θερμά κλίματα με ήπιους χειμώνες και μεγαλύτερη ηλιοφάνεια (Μεσογειακές χώρες) σχεδόν απουσιάζουν από τον χάρτη.

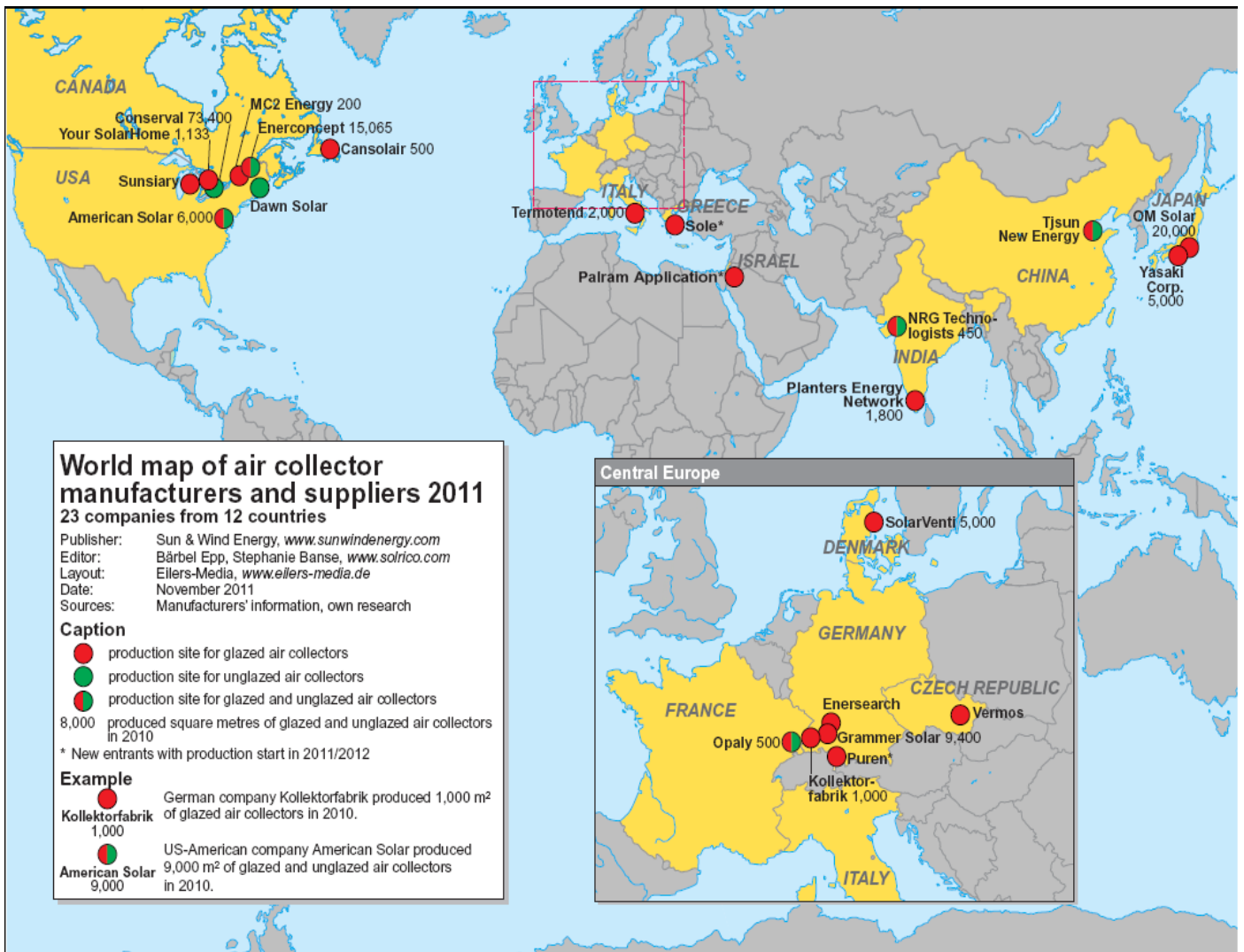
Από την διεθνή βιβλιογραφία γίνεται φανερό πως οι ΗΣΑ είναι ένα πεδίο των ηλιακών θερμικών συστημάτων το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί αντίστοιχα με τους συμβατικούς ηλιακούς συλλέκτες (υγρών). Η βιβλιογραφία είναι αρκετά περιορισμένη. Από αυτήν ξεχωρίζουμε: Bansal (et.al,1983), Kolb (et.al,1998), Alvarez (et.al, 2004), καθώς και μια έκθεση δοκιμών για ΗΣΑ του εργαστηρίου Arsenal research της Αυστραλίας (Fechner H.). Στις παραπάνω δημοσιεύσεις η κύρια διαφορά με τον ΗΣΑ της παρούσα μελέτης έγκειται αφενός μεν στα υλικά και στον σχεδιασμό κατασκευής αλλά κυρίως ότι στις μετρήσεις μας θα εισάγουμε 100% φρέσκο νωπό αέρα από το περιβάλλον άρα ο αέρας εισαγωγής θα έχει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και όχι κάποια προκαθορισμένη.

Σκοπός εργασίας

Η εργασία αυτή αποτελεί ένα πρώτο βήμα για τα Ελληνικά δεδομένα για την ολοκληρωμένη σχεδίαση και βιομηχανική κατασκευή απλού τύπου ηλιακών συλλεκτών αέρος ΗΣΑ, λαμβάνοντας υπόψη πέραν του χαμηλού κόστους κατασκευής την βέλτιστη απόδοση σε συνάρτηση με τις συνθήκες λειτουργίας. Θα γίνει εκτενής μελέτη απόδοσης και παροχής αέρα σε συναρτήση της επιθυμητής θερμοκρασίας στην προσαγωγή (έξοδο) του ΗΣΑ.

Συνέπεια του ότι ο αέρας στην εισαγωγή ταυτίζεται με τον αέρα περιβάλλοντος $T_i = T_a$ άμεσα καθορίζει και τον τρόπο μέτρησης των απωλειών του ΗΣΑ που στα έως σήμερα δεδομένα (εύρεση απωλειών) λαμβάνονταν υπόψη. Για αυτό θα δεν θα παρουσιαστεί γράφημα με τον συγκεκριμένο τρόπο εύρεσης των απωλειών αλλά θα γίνει προσπάθεια να ποσοτικοποιηθούν πειραματικά.

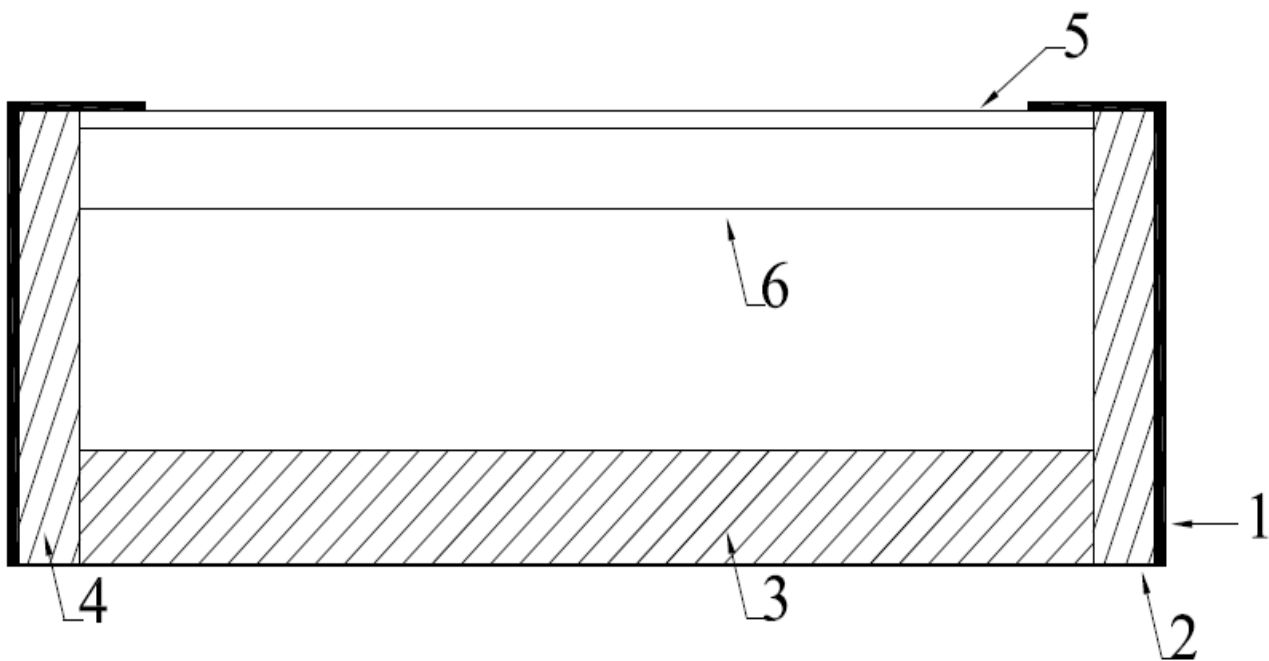
Τέλος πέραν της θέρμανσης αέρα για οικιακή χρήση, ο ΗΣΑ έχει εφαρμογή στην γεωργία όπως ξηραντήρια καπνού, σταφίδας κ.α, βουστάσια και συνολικά χώροι εκτροφής ζώων. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες εγκαταστάσεις θέρμανσης-εξαερισμού HVAC [25] όπως ξενοδοχεία-εργοστάσια-γραφεία HVAC ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Κατασκευαστές Ηλιακών Συλλεκτών Αέρος παγκοσμίως (Sun & Wind Energy 2011)

2.2 Σχεδιασμός ΗΣΑ

Ο συλλέκτης αέρος περιλαμβάνει όλα τα συνηθισμένα τμήματα ενός συμβατικού συλλέκτη όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 1.3.3 με κάποιες διαφοροποιήσεις. Δεν υπάρχει προφανώς υδραυλικό μέρος και το μέσο μεταφοράς είναι ο αέρας. Υπάρχει αναρρόφηση και κατάθλιψη καθώς και διατάξεις εσωτερικά κατά μήκος της διαδρομής του αέρα για την ανάμειξη- καθοδήγηση του. Τέλος, το υλικό που επιλέχθηκε για το κάλυμμα του συλλέκτη είναι συμπαγές πολυκαρβονικό διάφανο, πάχους 2 mm. Παρακάτω θα γίνει λεπτομερής περιγραφή και αιτιολόγηση των υλικών και των καινοτομιών που προσφέρουν. Ο πρότυπος συλλέκτης παρουσιάζεται στα Σχήματα 2.2, 2.3, 2.4. και στην συνέχεια αναλύονται λεπτομερώς τα υλικά με βάση την αρίθμηση τους.



Σχήμα 2.2: Τομή ηλιακού συλλέκτη αέρος

Υλικά κατασκευής ΗΣΑ

Τα υλικά του συλλέκτη έχουν μεγάλη ομοιότητα με αυτά ενός συμβατικού συλλέκτη. Αυτό έγινε διότι υπάρχει μεγάλη κατασκευαστική εμπειρία στους συμβατικούς συλλέκτες άρα είναι μια ώριμη τεχνολογία που μπορεί να είναι η βάση του συλλέκτη αέρος. Είναι πολύ σημαντικό να επιλέγουν υλικά τα οποία θα ανταποκριθούν για χρήση σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως: χαλάζι, έκθεση στον καλοκαιρινό ήλιο, θερμοκρασίες λειτουργίας από $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$ (θερμοκρασία κορεσμού-stagnation temperature) [26]. Όπως φαίνεται στην τομή του συλλέκτη, **Σχήμα 2.2**, έχουν αριθμηθεί τα κύρια μέρη του και αναλύονται πιο κάτω:

- 1) Πλαίσιο από αλουμίνιο
- 2) Πλάτη συλλέκτη από χαλυβδόελασμα με βαφή ή ανοξείδωτη λαμαρίνα πάχους 0.35 -0,5 mm. Τα παραπάνω υλικά προσφέρουν εξαιρετική ακαμψία αλλά προσθέτουν επίσης και μεγάλο βάρος. Η προτιμότερη λύση είναι αυτή του αλουμινίου με πάχος σε 0.2-0.5 mm χρειάζεται όμως η εσωτερική ενίσχυση του πλαισίου με την πλάτη λόγω της μικρής σταθερότητας που προσφέρει το αλουμίνιο της πλάτης.
- 3) Η μόνωση του συλλέκτη επιτυγχάνεται με μονωτικά υλικά που μπορούν να φτάσουν σε θερμοκρασία λειτουργίας έως και $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ αλλά και να μπορούν να έρθουν σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο που είναι ο αέρας προσαγωγής δίχως να τον επιβαρύνουν με σκόνη, σωματίδια και αναθυμιάσεις λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται εσωτερικά. Η καταλληλότερη λύση είναι αυτή του πετροβάμβακα με επικάλυψη αλουμινίου που έχει υποστεί ειδική επεξεργασία

για χρήση σε ηλιακούς συλλέκτες. Το πάχος και η πυκνότητα του πετροβάμβακα εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Για συνθήκες σαν της Αττικής χρησιμοποιήθηκε πετροβάμβακας πυκνότητας 50 kg/m^3 και πάχους 30 mm.

- 4) Στην πλευρική μόνωση χρησιμοποιούμε το ίδιο υλικό όπως της πλάτης.
- 5) Για το κάλυμμα του συλλέκτη χρησιμοποιήθηκαν πολυμερή. Ο λόγος της χρήσης αυτού και όχι ψημένου γυαλιού ήταν το βάρος, το κόστος και η αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως το χαλάζι [27]. Για τους παραπάνω λόγους έγινε χρήση πολυμερών και ειδικότερων χυτών λόγω της εξαιρετική τους οπτικής διαπερατότητας 91% στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τελικά, επιλέχθηκαν πολυκαρβονικά (PC) αντί των ακρυλικών λόγω της εξαιρετικής τους αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις (εφάμιλλες των χαλυβδοελασμάτων). Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν διπλής όψεως φίλτρο UV για την αποφυγή του κιτρινίσματος από την υπεριώδη ακτινοβολία και θερμοκρασία λειτουργίας μικροτερη, 180°C . Παρόλα αυτά, με την πάροδο 10 ετών υπάρχουν εμφανή σημάδια γήρανσης που δεν μειώνουν την περατότητα περισσότερο από 1% για κάθε έτος. βλ. *παράρτημα Α*
- 6) Τέλος το σημαντικότερο μέρος του συλλέκτη είναι η απορροφητική επιφάνεια. Επιλέχθηκε ο απορροφητής να είναι ή αλουμίνιο με επιλεκτική ηλεκτροστατική «βαφή» Η επιλεκτική επίστρωση δίνει την ιδιότητα στην επιφάνεια να απορρόφα μέχρι και 95% της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με ταυτόχρονη εκπομπή έως 5% βλ. *παράρτημα Α* (η εμπορική επωνυμία του υλικού είναι *mirortherm* της εταιρίας *alanod solar*). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση των θερμικών απολαβών. (Βλ. σχέση 1.3.4)

2.3 Κατασκευαστικά Δεδομένα

Οι διαστάσεις του ΗΣΑ είναι οι εξής:

Μήκος: 2,8m

Πλάτος: 1,25m

Ύψος προφίλ : 0,12m

Εμβαδό ολικής Επιφάνεια : $3,5 \text{ m}^2$

Εμβαδό επιφάνειας απορροφητή : $3,2 \text{ m}^2$

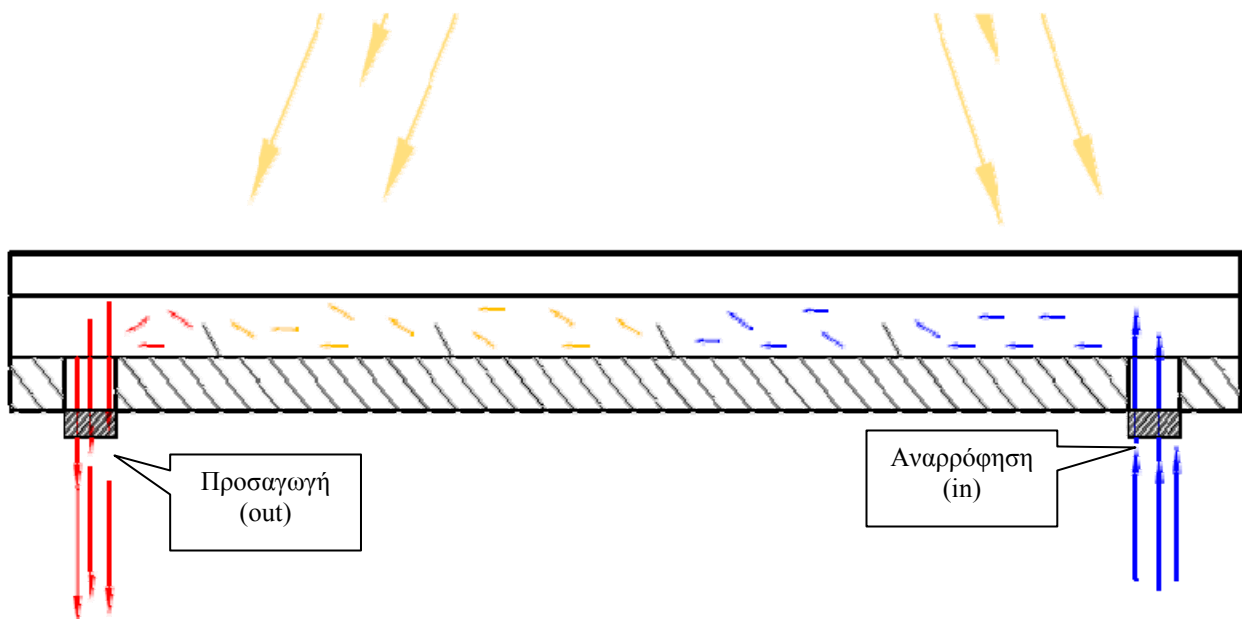
Οι συναρμολόγηση έγινε με συνήθη μέσα, όπως μηχανική σύσφιξη για πλαίσιο από αλουμινένιο, για την στεγανοποίηση και την συγκράτηση του καλύμματος χρησιμοποιήθηκε λάστιχο EPDM, η χρήση σιλικόνης δεν ενδείκνυται (ακόμα και ουδέτερης) διότι η μυρωδιά από τον πολυμερισμό της είναι έντονη κατά το πρώτο χρονικό διάστημα. Στο *σχήμα 2.3* φαίνεται το εσωτερικό του συλλέκτη και συγκεκριμένα ο απορροφητής πριν την τοποθέτηση του καλύμματος από πολυμερές. Η επιλογή της απόστασης του διακένου μεταξύ απορροφητή και καλύμματος είναι στα 30mm. Κατά τις δοκιμές παρατηρήθηκε πως το ρεύμα αέρα πάνω από τον απορροφητή μειώνει την απόδοση αφενός λόγω της απόθεσης σκόνης και αφετέρου διαπιστώθηκε πως αυξάνονταν οι απώλειες, έτσι επιλέχθηκε ο αποκλεισμός του εισερχομένου αέρα σε αυτό το διάκενο.



Σχήμα 2.3: Εσωτερικό πρότυπου συλλέκτη

Λειτουργία Συλλέκτη

Στο **Σχήμα 2.4** απεικονίζεται η πλάγια τομή του συλλέκτη. Εύκολα διακρίνεται η είσοδος (αναρρόφηση) του νωπού κρύου αέρα (με μπλε βέλος) και η έξοδος (προσαγωγή) του ζεστού πλέον αέρα (με κόκκινο βέλος).



Σχήμα 2.4: Τομή και λειτουργία ηλιακού συλλέκτη αέρος

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ο νωπός αέρας εισέρχεται εσωτερικά του συλλέκτη με την βοήθεια ενός αξονικού ή φυγοκεντρικού ανεμιστήρα (εξαναγκασμένη ροή) όπου και έρχεται σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια. Το κάλυμμα του συλλέκτη από τον απορροφητή έχει κάποια απόσταση όπου καθορίζεται στα 3 cm. Ο αέρας ακολουθώντας τα βέλη του σχήματος σαρώνει το εσωτερικό του συλλέκτη. Όπως παρατηρείται τα πτερύγια παρεμβάλλονται στην διεύθυνση του ρεύματος του αέρα, αυτό γίνεται σκόπιμα για να ανακατεύεται και να έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του απορροφητή. Να τονίσουμε πως θέλουμε να επιτευχθούν χαμηλές ταχύτητες στο εσωτερικό του συλλέκτη αφού παρατηρήθηκε πως έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία στην προσαγωγή συνεπώς τα πτερύγια εξυπηρετούν και αυτό τον σκοπό δηλαδή να «φρενάρουν» τον αέρα. Στην συνέχεια, κατά την διάρκεια κίνησής του, ο αέρας αυξάνει την μέση θερμοκρασία του και εξέρχεται έχοντας αποκτήσει την μέγιστη θερμοκρασία. Για να υπολογισθεί η απόδοση έγιναν μετρήσεις με διάφορες παροχές νωπού αέρα σε διαφορετικές ημέρες, οι μετρήσεις παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.2. Στην οριζόντια θέση (σχήμα 2.5) ο αέρας στο εσωτερικό του συλλέκτης, λόγω της τάσης του αέρα να κινείται ανοδικά, δεν σαρώνει όλη την επιφάνεια του απορροφητή, παρόλα αυτά σκόπιμα τοποθετήθηκε οριζόντια αφού η μεγάλη διάσταση του ΗΣΑ δημιουργούσε σημαντικά στατικά προβλήματα στον λόγο ανεμόπτωσης.

Ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας που παρατηρούνται είναι η συναγωγή, δεν θα γίνει όμως αναλυτική περιγραφή διότι η πολυπλοκότητα (εξαναγκασμένη συναγωγή) της ξεπερνά τους στόχους αυτής της εργασίας. Στις εικόνες 2.5, 2.6, 2.7 παρατηρούμε τον συλλέκτη σε λειτουργία από την πίσω και πλάγια όψη



Σχήμα 2.5: Όψη συλλέκτη



Σχήμα 2.6: Πλάγια όψη συλλέκτη



Σχήμα 2.7: Πίσω όψη συλλέκτη

Κεφάλαιο 3

Πειραματικός Προσδιορισμός Απόδοσης Προτύπου Συλλέκτη

3.1 Μέθοδος και Πρότυπα

Στην προσπάθεια για τον πειραματικό προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη αέρος δεν βρέθηκε κάποιο διεθνές πρότυπο ή κανονισμός.[30] Αυτό αντανακλά κατά πόσο διαδεδομένη είναι εμπορικά η παρούσα διάταξη και την «διάθεση» των βιομηχανιών να δαπανήσουν κεφάλαια για την πιστοποίηση και ανάπτυξη της παρούσας διάταξης δίχως το κίνητρο του κέρδους. Η επιστημονική κοινότητα έχει αναπτύξει μια παρεμφερή με αυτή των συμβατικών συλλέκτη μέθοδο για την εύρεση της απόδοσης του ΗΣΑ αλλά δεν κρίνεται αποτελεσματική.

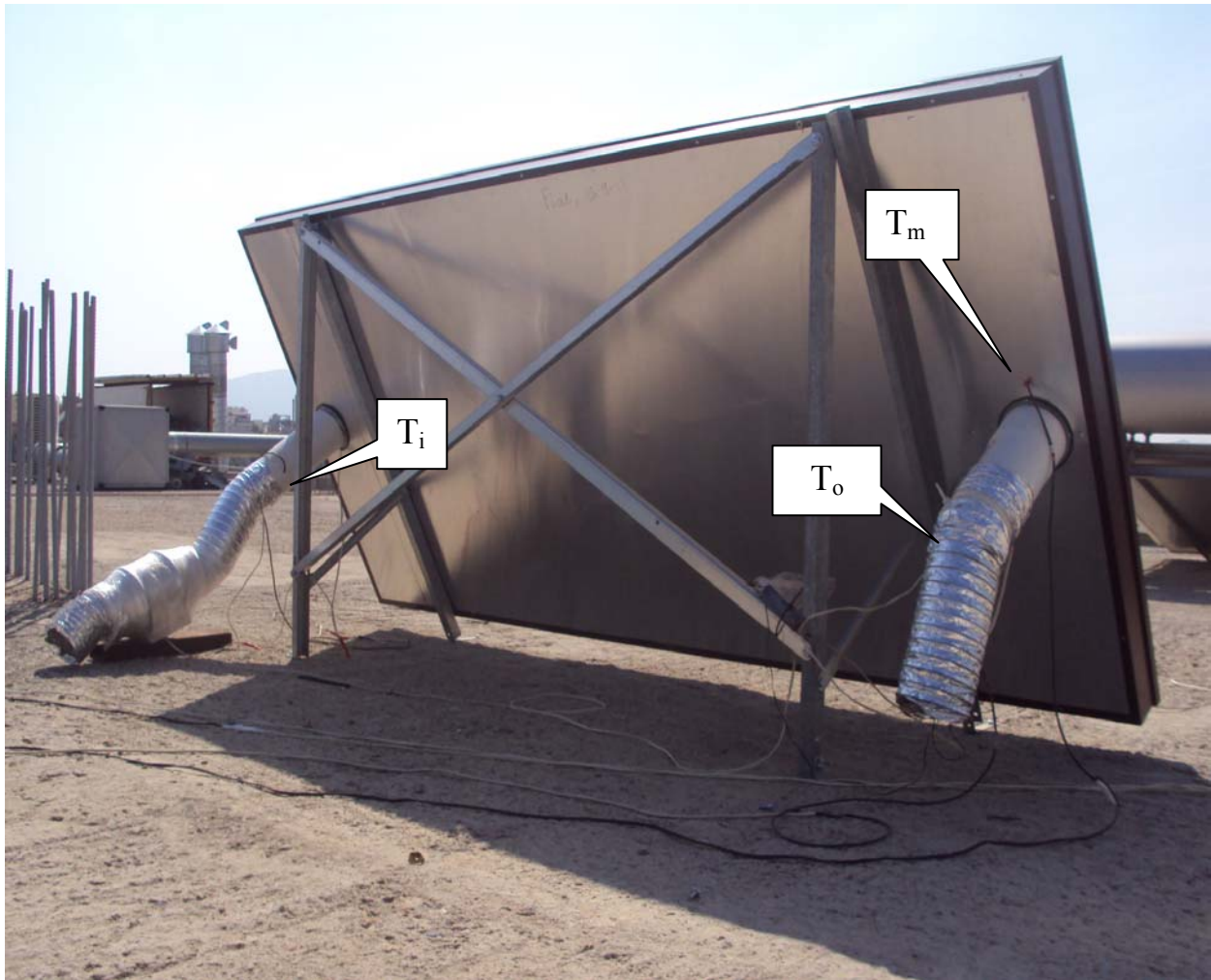
Τα πρότυπα που προσδιορίζουν την απόδοση συμβατικών συλλεκτών (Συλλέκτες με υγρό και διάφανο κάλυμμα) είναι το πρότυπο EN12975-2 / ISO 9806-1, προφανώς όμως δεν είναι κατάλληλο για την παρούσα διάταξη διότι το εργαζόμενο μέσο δεν είναι υγρό και δεν υπάρχει αποθήκευση (άρα και μεγάλες απώλειες). Η ακριβής μέτρηση της μάζας του αέρα και της θερμοκρασίας του, συνεπώς και της θερμικής του ισχύος είναι πολύ πιο περίπλοκη από αυτή των υγρών διότι ο τρόπος μεταφορές θερμότητας μεταξύ απορροφητή και αέρα είναι αρκετά περίπλοκος.

Παρά ταύτα πρότυπα σχετικά με το αντικείμενο είναι τα εξής:

- A) Το Ιταλικό πρότυπο UNI 89371 [31] που δίνει μόνο μια ιδέα για τον τρόπο που πρέπει να παρθούν οι μετρήσεις αλλά δεν δίνει λύση στο πρόβλημα.
- B) Το Αμερικάνικο πρότυπο ASHRAE 93-2003 και 93-2010 [32] παρέχει σαφείς μεθόδους μέτρησης αλλά αφορά συλλέκτες με υγρό και αέριο μέσο ταυτόχρονα.

3.2 Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται φωτογραφία της διάταξης του συλλέκτη με τα μετρητικά όργανα για τον προσδιορισμό του βαθμού απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη αέρος. Τα θέση των αισθητήριων για την μέτρηση των θερμοκρασιών στην αναρρόφηση T_i , , προσαγωγή T_o και μέγιστης θερμοκρασίας T_m απεικονίζονται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Διάταξη συλλέκτη

Η διάταξη διακρίνεται στο *σχήμα 3.1* και αποτελείται από:

- Τον συλλέκτη που έχει τοποθετηθεί πάνω σε σταθερή βάση με κλίση 60° ως προς το επίπεδο με νότιο προσανατολισμό.
- Τον αξονικό ανεμιστήρα TD-800/200N Lo (βλ. *παράρτημα 1*) *Σχήμα 3.2* στην αριστερή πλευρά του συλλέκτη (προσαγωγή)
- Ρυθμιστή στροφών (ροοστάτης) στην αριστερή πλευρά του συλλέκτη *Σχήμα 3.3*

Τα όργανα (μέσα) της μετρητικής διάταξης περιλαμβάνουν:

- Μετρητής ολική ηλιακής ακτινοβολίας: Eppley PSP, *Σχήμα 3.4*
- 3 Θερμοστοιχεία: PT100
- Καταγραφικό θερμοκρασιών της National Instrument τύπου NI-4130
- Λογισμικό DasyLab V10 *Σχήμα 3.5*



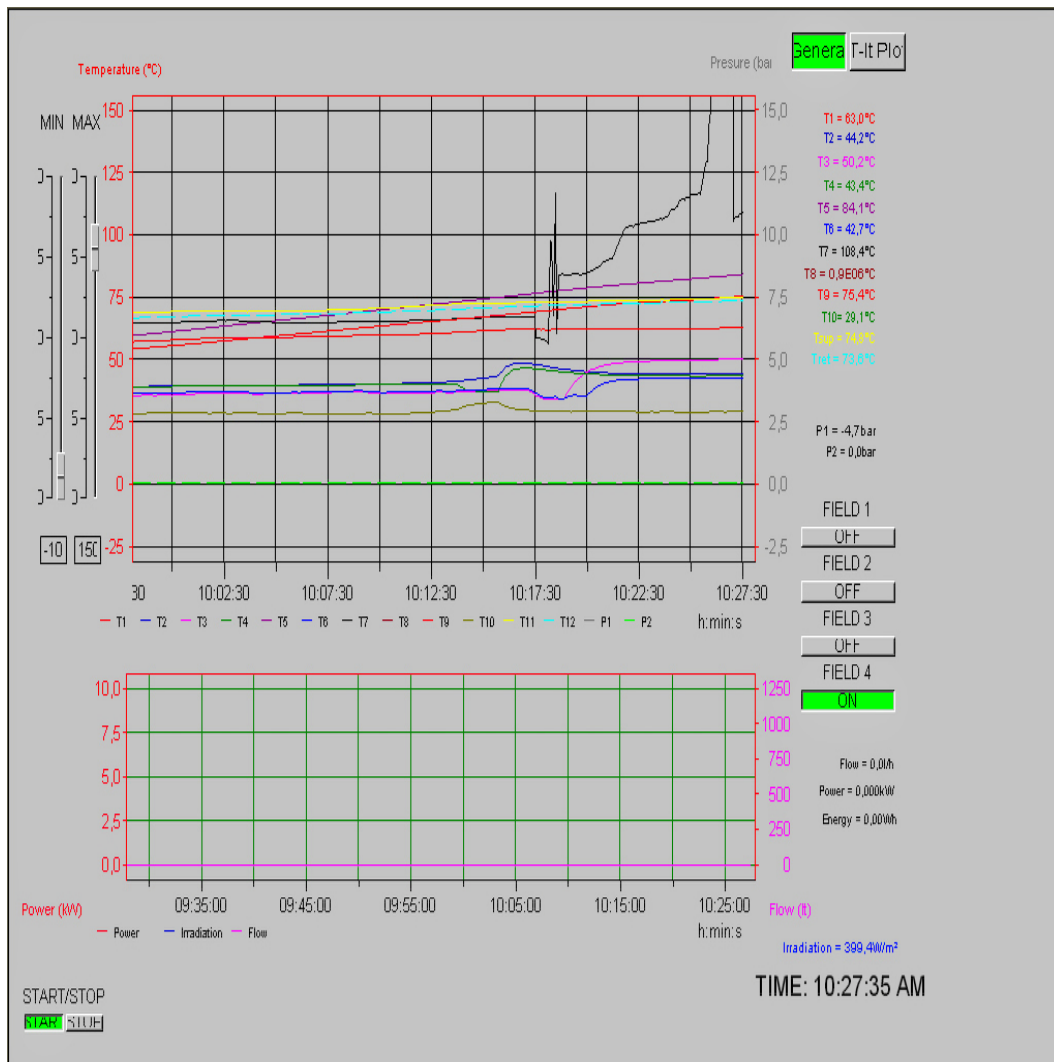
Σχήμα 3.2 Αξονικός ανεμιστήρας



Σχήμα 3.3 Ρυθμιστής στροφών



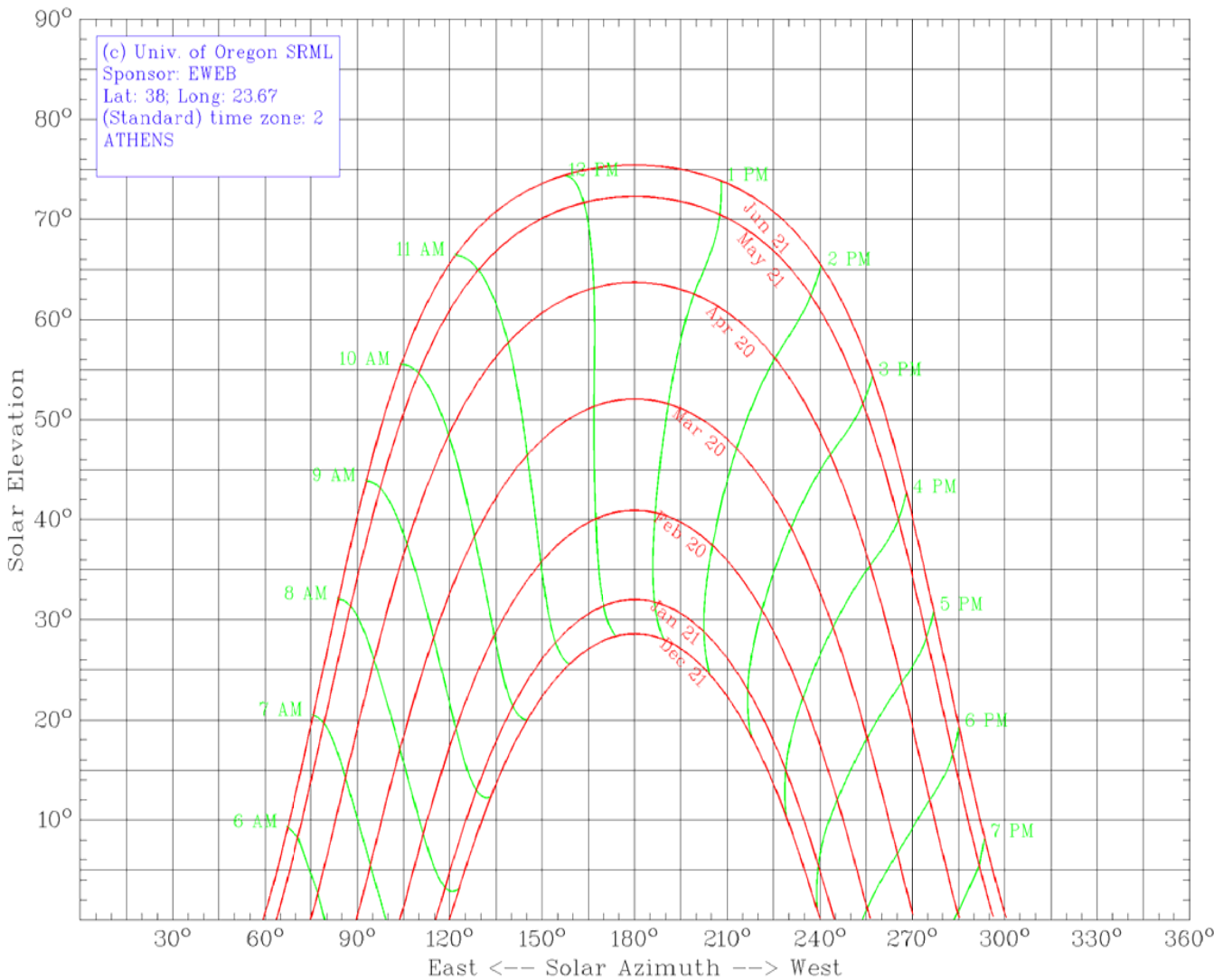
Σχήμα 3.4 Μετρητής ολικής ηλιακής ακτινοβολίας



Σχήμα 3.5 Καταγραφικό Λογισμικό DasyLab

Επιλογή κλίσης:

Επιλέχθηκε η κλίση του συλλέκτη στις 60° . Η υπόθεση που έγινε είναι πως αν την χειρότερη μέρα του έτους (από ενεργειακής πλευράς) δηλ. την 21 Δεκεμβρίου όπου έχουμε την μικρότερη διάρκεια της μέρας (η μέρα διαρκεί τις λιγότερες ώρες μέσα στο χρόνο), ο ήλιος έχει γωνία ύψους 28° (Σχήμα 3.6) και επικρατεί ψύχος ο συλλέκτης κατορθώσει να δώσει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, τότε η συσκευή θα θεωρείται αξιόπιστη. Από τα παρακάτω σχήματα προκύπτει πως την 21 Δεκεμβρίου για να έχουμε την μέγιστη απόδοση θα πρέπει η επιφάνεια του συλλέκτη να είναι κάθετη στην διεύθυνση της άμεσης ηλιακή ακτινοβολίας άρα σωστά επιλέχθηκε η κλίση των 60° και επιβεβαιώνεται από το Σχήμα 3.7 [33].



Σχήμα 3.6: Ηλιακή τροχιά περιοχή Αθήνας

Πίνακας 3.1: Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια για τις βέλτιστες γωνίες κλίσης β ($kWh/m^2.mo$), και βέλτιστη κλίση σε ετήσια (E) βάση, χειμερινή (X) και θερινή (Θ) περίοδο, για την περιοχή της Αθήνα [33]

Κλίση β (°)	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	E	X	Θ
Αθήνα ($\varphi=37,96^\circ$, $L=23,92^\circ$)															
7-14	70	84	118	151	190	201	217	206	158	117	84	67	1664	540	1124
23-33	86	97	126	151	181	188	204	202	166	133	104	85	1724	649	1092
42-52	98	103	124	137	154	156	171	178	159	140	118	99	1637	682	955

Εξαναγκασμένη ροή:

Επιλέξαμε ο αξονικός ανεμιστήρα να καταθλίβει τον αέρα στην είσοδο του συλλέκτη δηλαδή να σπρώχνει αέρα. Αιτία στάθηκε το γεγονός πως στην έξοδο ο ζεστός αέρας (+40 °C) θα έφθαιρε (καταπονούσε) σημαντικά τον ανεμιστήρα οπότε και θα έβγαινε εκτός λειτουργίας. (Όπως και έγινε πριν του αλλάξουμε θέση). Αιτία για την τοποθέτηση του ανεμιστήρα αρχικά στην έξοδο του ΗΣΑ ήταν ότι παρατηρήθηκε πως σε μια περιοχή κοντά στην έξοδο ο αέρας δεν σάρωνε όλη την επιφάνεια τον απορροφητή (έμενε σχετικά ακίνητος).

Στον αξονικό ανεμιστήρα συνδέθηκε και ένας ροοστάτης (ρυθμιστής στροφών) για να μπορούμε μεταβάλλοντας τις στροφές του ανεμιστήρα να μεταβάλλεται και η παροχή νωπού αέρα (συνεπώς να μεταβάλλεται και η ταχύτητα του αέρα εσωτερικά του συλλέκτη) άρα και η αποδιδόμενη θερμική ισχύς του συλλέκτη.

Αισθητήρια θερμοκρασίας :

Τοποθετήθηκαν συνολικά 3 αισθητήρια επαφής. Το πρώτο τοποθετήθηκε στην παροχή αέρα αμέσως μετά τον αξονικό ανεμιστήρα και προφανώς μετρά την θερμοκρασία παροχής του νωπού αέρα T_i που στην συγκεκριμένη περίπτωση ισούται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_i=T_a$, το δεύτερο αισθητήριο τοποθετήθηκε αντίστοιχα στην κατάθλιψη και μετρά την θερμοκρασία εξόδου T_o και το τρίτο τοποθετήθηκε από την πίσω πλευρά του σε μια οπή κάθετα στον απορροφητή και ακριβώς στο σημείο εξόδου για να υπάρχει μία «σχετική» ένδειξη της μέγιστης θερμοκρασίας T_m στο εσωτερικό του ΗΣΑ ή με άλλα λόγια της διαθέσιμης θερμότητας του απορροφητή.

3.3 Μοντελοποίηση – Προσομοίωση διαδικασίας

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι μεταφέρουν θερμότητα από τον απορροφητή σε ένα ρευστό, ποιο συγκεκριμένα οι ηλιακοί συλλέκτες μεταφέρουν την θερμότητα που δεσμεύουν μέσω του απορροφητή από την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα ρευστό. Για τους ηλιακούς συλλέκτες τα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας που μας ενδιαφέρουν καλύπτουν την περιοχή από το ορατό έως και το υπέρυθρο φάσμα. Η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό και των θερμικών απωλειών.

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα λαμβάνουν υπόψη τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του ηλιακού συλλέκτη αέρος, διακρίνονται όμως σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που προσεγγίζουν τη λειτουργία του συλλέκτη στις μεταβατικές καταστάσεις (Cadafalch, 2008)

• **Δυναμικά μοντέλα (dynamic model):** Τα δυναμικά μοντέλα προσπαθούν να προσεγγίσουν τη στιγμιαία συμπεριφορά του συλλέκτη, συνυπολογίζοντας, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, τα μεταβατικά φαινόμενα, δηλαδή αυτά που συνδέονται με τα φαινόμενα συσώρευσης (ή καθυστέρησης) που επιβάλλονται από τη θερμοχωρητικότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και τα αποκαλούμενα δυναμικά μοντέλα (quasi-dynamic models), τα οποία λαμβάνουν υπόψη ορισμένα μόνο από τα θερμοχωρητικά στοιχεία του συστήματος. (Duffie et al., 1991) [34]

• **Μοντέλα σταθερής κατάστασης (steady-state):** Πρόκειται για μοντέλα, ή καλύτερα για μοντέλο, που περιγράφει τη στιγμιαία ενεργειακή συμπεριφορά ενός συλλέκτη σε συνθήκες σταθερής κατάστασης, δηλαδή όταν δεν υπάρχει σημαντική διακύμανση των κύριων κλιματολογικών μεγεθών (ακτινοβολία, θερμοκρασία περιβάλλοντος), καθώς και των λειτουργικών του χαρακτηριστικών (θερμοκρασία εισόδου και παροχή θερμικού φορέα). Το μοντέλο συνίσταται σε μια χαρακτηριστική εξίσωση, οι συντελεστές της οποίας μπορούν να υπολογιστούν τόσο αναλυτικά όσο και πειραματικά (Duffie et al., 1991). [34] Η προσέγγιση αυτή έχει βρει τη μεγαλύτερη εφαρμογή μέχρι σήμερα, ακόμα και ως βάση προτυποποιημένων μεθόδων αξιολόγησης (Mathioulakis et al., 1999). [35]

Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων έγκειται στη θεώρηση των επιπτώσεων στη συμπεριφορά του συλλέκτη των κλιματολογικών κυρίως μεταβολών, που αναπόφευκτα υπάρχουν σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας. Στο βαθμό που η θερμοχωρητικότητα των υπολοίπων υποσυστημάτων που συμμετέχουν σε μια διεργασία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του συλλέκτη, το μοντέλο σταθερής κατάστασης είναι επαρκές και τα σφάλματα που οφείλονται στην προσέγγιση της θεώρησης σταθερής κατάστασης είναι αμελητέα (Duffie et al, 1991). [34] Η περίπτωση αυτή είναι η συνηθέστερη στην πράξη και για το λόγο αυτό το μοντέλο σταθερής κατάστασης θα συζητηθεί στη συνέχεια εκτενέστερα.

Στην προσπάθεια μοντελοποίησης της λειτουργίας του επίπεδου ηλιακού αέρος συλλέκτη έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- Ο συλλέκτης λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση.
- Η ροή μάζας λαμβάνει χώρα μονοδιάστατα [17]
- Υπάρχει διατήρηση μάζας
- Οι απώλειες του συλλέκτη προς το περιβάλλον από το πίσω και πλαϊνό μέρος θεωρούνται **προσωρινά** αμελητέες, επίσης δεν υπάρχει αποθήκευση της θερμότητας που λαμβάνεται καθώς άρα και οι απώλειες είναι περιορισμένες σε σύγκριση με τους συμβατικούς συλλέκτες. Παρόλα αυτά θα γίνει μια προσπάθεια στο τελευταίο μέρος αυτής της μελέτης οι απώλειες να ποσοτικοποιηθούν με βάση τα πειραματικά δεδομένα.

Χρειάζεται να επισημανθεί πως με την παραπάνω απλοποιημένη διάταξη και το υπολογιστικό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί είναι επιθυμητό να εξαχθούν πειραματικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά του προτύπου συλλέκτη, χωρίς βέβαια να αγνοείται η πολυπλοκότητα, λόγω της συνύπαρξης φαινομένων ιδιαίτερα σύνθετων από υπολογιστικής άποψη, όπως, μεταξύ άλλων, μετάδοση θερμότητας με αγωγή σε τρισδιάστατες γεωμετρίες, συναγωγή σε συνθήκες φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, μετάδοση θερμότητας με

ακτινοβολία παρουσία υλικών με ανομοιόμορφη φασματική απόκριση καθώς και παραμέτρους που επιδέχονται μόνο στοχαστική μοντελοποίηση, όπως είναι οι κλιματολογικές συνθήκες.

3.3.1 Πειραματική απόδοση Ηλιακού Συλλέκτη Αέρος

Απόδοση Ηλιακού Συλλέκτη

Η στιγμιαία απόδοση n ενός ηλιακού συλλέκτη (νερού ή αέρα) σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία: Harrison 2004, Duffie 1991, ASHRAE 93-2003, SUKHATME 1999, KOL 1998, M. Boles 2003, Αντωνόπουλου 2004, Buchinger 2006, UNI 8937 Italiana, 1987, BANSAL 1983

[17],[20],[21],[30]- [42] μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ωφέλιμης ισχύς που παρέχεται \dot{Q} [W], από τον συλλέκτη προς το γινόμενο της επιφάνειας του απορροφητή A [m^2] επί της ολικής ηλιακής ακτινοβολία I [W/m^2] που δέχεται ο απορροφητής.

$$n = \frac{\dot{Q}}{A I} \quad (3.1)$$

Σε κλειστά συστήματα με σταθεροποιημένη ροή η ωφέλιμη θερμική ισχύς \dot{Q} [kW] ισούται με το γινόμενο της ροής μάζας \dot{m} [Kg / sec] επί την μέση ειδική θερμότητα C_p σε σταθερή περιοχή θερμοκρασίας και πίεση [$kJ / kg \times K$] επί την μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα κατά την είσοδο και έξοδο $\Delta T = (T_o - T_i)$ [K]

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (3.2)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις (3.3.1) & (3.3.2) προκύπτει η στιγμιαία απόδοση του ηλιακού συλλέκτη

$$n = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A I} \quad (3.3)$$

Ο ρυθμός με τον οποίο μια επιφάνεια απορροφά την ακτινοβολία υπολογίζεται από την σχέση

$$\dot{Q}_{abs} = A(\tau\alpha)I \quad (3.4)$$

όπου

τ : παράγων διαπερατότητας

α : παράγων απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

A : επιφάνεια του απορροφητή [m^2]

I : συνολική ηλιακή ακτινοβολία [W/m^2]

3.3.2 Απώλειες Ηλιακού Συλλέκτη

Στην μέθοδο υπολογισμού του βαθμού απόδοσης [18],[20],[21] που θα ακολουθεί δεν θα λάβουμε υπόψη μας τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον ή μάλλον δεν θα τις υπολογίσουμε με βάση κάποιο θεωρητικό μοντέλο, παρόλα αυτά θα κάνουμε μια μικρή αναφορά για να εντοπίσουμε τον «μηχανισμό» των απωλειών. Ο ολικός συντελεστής απωλειών του συλλέκτη U αποτελείται από τρεις όρους :

$$U = U_u + U_d + U_s \quad (3.5)$$

U_u : συντελεστής απωλειών προς τα επάνω.

U_d : συντελεστής απωλειών προς τα κάτω.

U_s : συντελεστής απωλειών προς τα πλάγια.

Η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο **Συντελεστής Απομάκρυνσης Θερμότητας από τον συλλέκτη** F_R , ο οποίος είναι ανοιγμένο μέγεθος στην θερμοκρασία εισόδου του συλλέκτη :

$$F_R = \frac{m C_p (T_{in} - T_{out})}{A_{\text{συλλέκτη}} [S - U (T_i - T_o)]} \quad (3.6)$$

S : η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία.

U : ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη.

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι :

$$Q = A_{\text{συλλέκτη}} \cdot F_R \cdot [S - U \cdot (T_{in} - T_{\text{αέρα}})] \quad (1.3.6)$$

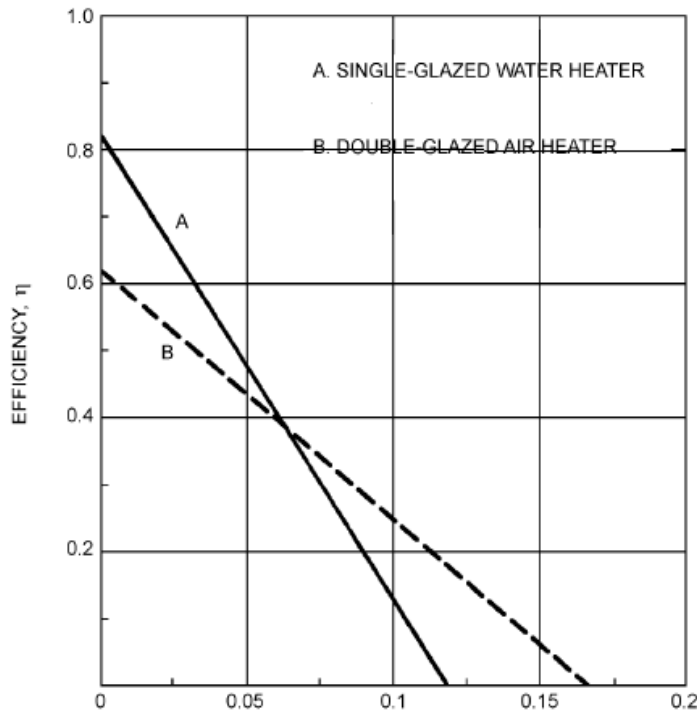
Ο σταθερός βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη περιγράφεται από την εξίσωση των Hottel-Whillier-Bliss

$$n = F_R (\tau \alpha) - F_R U (T_i - T_o) / I \quad (3.3.7)$$

τ = παράγων διαπερατότητας του καλύμματος

α = παράγων απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

Στο **σχήμα 3.8** που ακολουθεί γίνεται σύγκριση μεταξύ συλλέκτη νερού και συλλέκτη αέρος ως προς την απόδοση, είναι φανερό πως στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συλλέκτης νερού έχει υψηλότερη απόδοση



σχήμα 3.8: Απόδοσης Ηλιακού Συλλέκτη (νερού *A*- αέρα *B*) συναρτήσει $\Delta T/I$ [30]

Στο σχήμα 3.8 γίνεται σύγκριση μεταξύ συλλέκτη νερού και συλλέκτη αέρος ως προς την απόδοση, είναι φανερό πως στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συλλέκτης νερού έχει υψηλότερη απόδοση.

3.3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο πειράματος για τον υπολογισμό των απωλειών ΗΣΑ

Στο μαθηματικό μοντέλο που ακολουθεί γίνεται προσπάθεια να κατασκευαστούν οι μαθηματικές εξισώσεις που θα περιγράψουν την απόδοση του ΗΣΑ, η δυσκολία που προέκυψε ήταν πως δεν υπάρχει κάποιο διεθνές πρότυπο για την εύρεση της απόδοσης του συλλέκτη ΗΣΑ, ακόμα και κάποιο συγγενικά πρότυπο δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιήσουν αφού π.χ γινόταν χρήση στις εξισώσεις και θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας αναρρόφησης που στην συγκεκριμένη περίπτωση ταυτίζεται $T_a = T_{in}$

$$n = \frac{\dot{Q}}{A I}$$

με $\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_o - T_i)$ (3.2)

- Θεωρούμε πως οι απώλειες του συλλέκτη προς το περιβάλλον καθώς και οι συντελεστές απορρόφησης και εκπομπής εμπεριέχονται στην εξίσωση της ωφέλιμης θερμικής ισχύς του συλλέκτη διότι το T_0 είναι μετρημένο πειραματικά.
- Με την παραδοχή της μονοδιάστατης ροής η παροχή δίνεται από την σχέση (3.1) [17]

$$\dot{m} = \rho V D \quad (\text{kg/s}) \quad (3.8)$$

Όπου: ρ : πυκνότητα (kg/m^3)

V : η μέση ταχύτητα του ρευστού κάθετα την διατομή A της εισόδου, m/s

D : το εμβαδό της διατομής στην αναρρόφηση κατά διεύθυνση της ροής, m^2

- Να σημειωθεί πως η πυκνότητα του αέρα αλλάζει συνεχώς με την θερμοκρασία, για αυτό παίρνουμε έναν μέσο ειδικό όγκο αέρα ($u=1/\rho$) που να ανταποκρίνεται στις συνθήκες των μετρήσεων μας.
- Η ειδική θερμότητα C_p λαμβάνεται σταθερή και ίση με $1,0005 \text{ kJ / kg C}$

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι:

$$n_{real} = \frac{Q_{real}}{AI}$$

όπου $Q_{real} = \rho V D C_p \Delta T$

δηλ. η πειραματικά μετρούμενη θερμική ισχύς.

Το ενεργειακό ισοζύγιο του συλλέκτη αναλύεται ως η διάφορα μεταξύ της ισχύς που απορροφά και αυτής που χάνει με την μορφή απωλειών :

$$Q_{th} = Q_{abs} - Q_{loss} \quad (3.9)$$

Όπου Q_{th} : Η τελική ωφέλιμη θερμική ισχύς (θεωρητική)

Q_{abs} : Θερμική ισχύς που απορροφά

Q_{loss} : Απώλειες θερμικής ισχύος

Συνεπώς ο βαθμό απόδοσης αναλύετε ως εξής:

$$n_{th} = \frac{Q_{th}}{AI}$$

$$\text{και } Q_{th} = Q_{abs} - Q_{loss}$$

$$Q_{abs} = A (\tau\alpha) I \quad (3.4)$$

Αν $Q_{loss} = 0$ (σύμφωνα με την υπόθεση που έγινε)

$$\text{Τότε } Q_{th(max)} = A (\tau\alpha) I \quad (3.10)$$

και

$$n_{th} = \frac{A(\tau\alpha)I}{AI} = (\tau\alpha) = 0,855 \quad (3.11)$$

με α : 0,95 παράγων απορρόφησης

τ : 0,9 παράγων διαπερατότητας (βλ. παράρτημα Α)

Άρα η μέγιστη απόδοση που μπορεί ο συλλέκτης να φθάσει είναι 0,855. Οι συντελεστές απορρόφησης και διαπερατότητας [26] προκύπτουν από τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται στο παράρτημα Α.

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα Μετρήσεων -Συζήτηση

4.1 Διαδικασία λήψης μετρήσεων

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι να εντοπιστεί η βέλτιστη παροχή και ταχύτητας σάρωσης εσωτερικά του συλλέκτη συναρτήσει θερμοκρασίας προσαγωγής, ώστε να επιτευχτεί η μέγιστη απόδοση του συλλέκτη. Η μεταβολή της ταχύτητας άρα και της παροχής αέρα γίνονταν με βάση την διαφορά θερμοκρασίας της μέγιστης εσωτερικά θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας εξόδου. Άρα όσο η θερμοκρασία εξόδου πλησίαζε την μέγιστη εσωτερικά θερμοκρασία του συλλέκτη $T_m - T_f \sim 0$ δηλ. η διάφορα μεταξύ τους μειωνόταν ο απορροφητής ποιο αποτελεσματικά μετέφερε την ηλιακή ενεργεία που είχε απορροφήσει στο ρεύμα αέρα.

Η μετρήσεις πάρθηκαν κατά την διάρκεια του έτους 2011-12 και ιδιαίτερα σε ψύχρες μέρες ώστε να γίνουν ποιο αντιληπτές οι απώλειες μέσα από το ισοζύγιο ενέργειας. Παρακάτω παρατίθεται η εισαγωγή των δεδομένων σε φύλλο του excel όπου με την βοήθεια των εξισώσεων που περιγράφηκαν νωρίτερα κατασκευάστηκαν οι ζητούμενες καμπύλες απόδοσης και χαρακτηριστικές της λειτουργίας του ΗΣΑ. Το βήμα των μετρήσεων ήταν στα 5 s.

4.2 Παρουσίαση Μετρήσεων- Συζήτηση

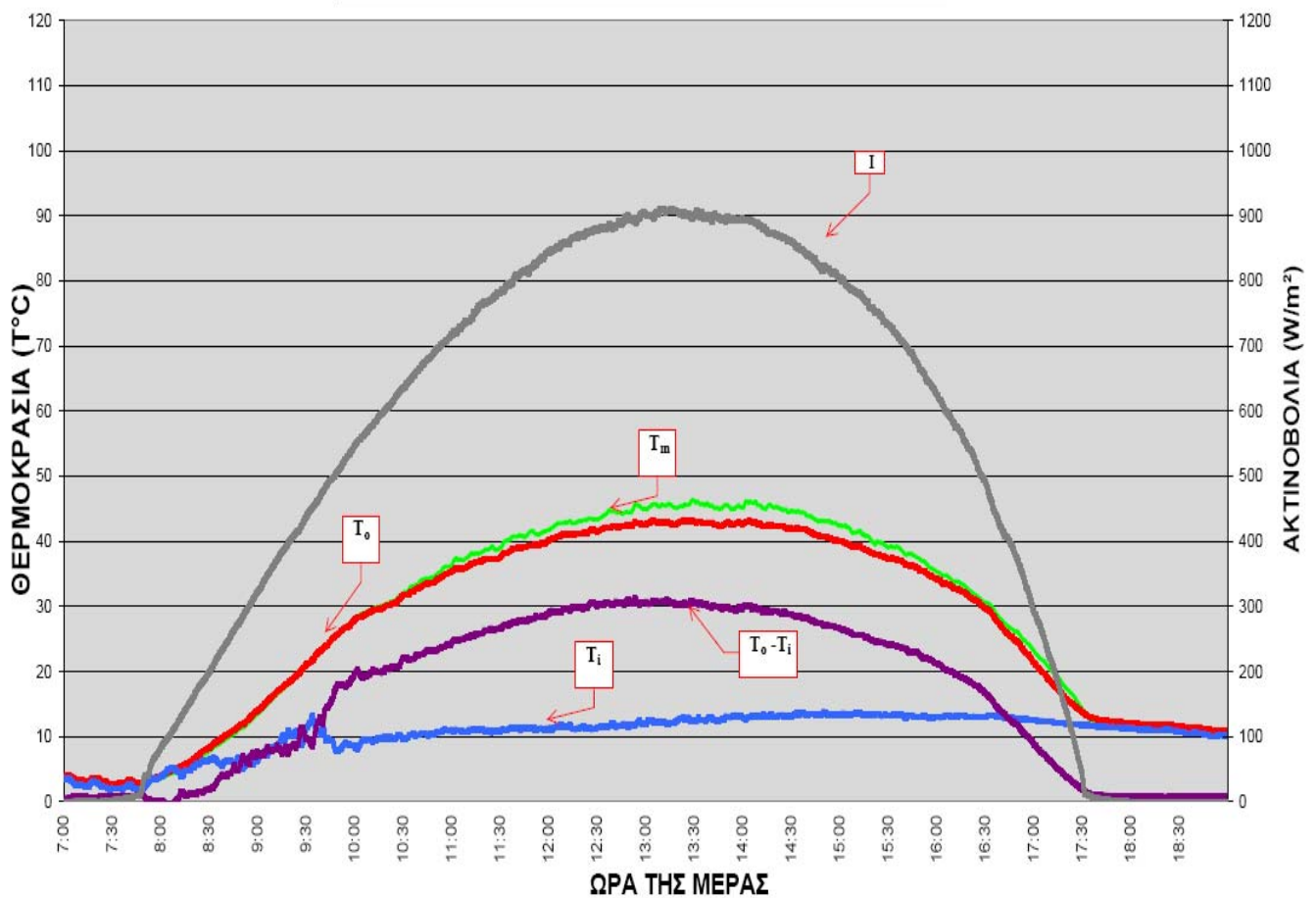
Με βάση τα παραπάνω επιλεχτήκαν οι έξι μετρήσεις με κριτήριο α) να είναι «καθαρές» δηλ. να υπάρχει σταθερή ηλιοφάνεια ώστε ο συλλέκτης να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε λειτουργία μόνιμη κατάστασης β) η μεταβολή της παροχής του αέρα να είναι τέτοια ώστε να γίνεται αντιληπτό το αποτέλεσμα που επιφέρει. Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τις μετρήσεις και κατόπιν το ενδεικτικό γράφημα για παροχή 260 m³/h, η συγκεκριμένη μέτρηση αποτελεί την ενδεικτική όχι μόνο γιατί πλήρη τις παραπάνω προϋποθέσεις αλλά και γιατί η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αρκετά χαμηλή άρα και οι απώλειες σημαντικές. Τα υπόλοιπα γραφήματα παρατίθενται στο παράρτημα Β για βοηθητικούς λόγους αφού τα δεδομένα τους χρησιμοποιούνται στα συγκεντρωτικά διαγράμματα.

Πέρα από τις μετρήσεις με εξαναγκασμένη παροχή γίνεται προσπάθεια να μελετηθεί η συμπεριφορά του συλλέκτη ως προς την μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει με φυσική επανακυκλοφορία (stagnation test) καθώς και αυτή με τελείως φυσική ροή από το περιβάλλον προς τον συλλέκτη.

Πίνακας 4.1 Πίνακας καταγραφής παροχής αέρα στην προσαγωγή ανά ημερομηνίας λήψης μέτρησης

Ημερομηνία λήψης μέτρησης	Παροχή αέρα στην κατάθλιψη m ³ /h
10-4-2011	120
1-12-2011	160
11-9-2011	200
22-1-2012	260
14-12-2011	300
6-11-2011	400
25-2-2012	Επανακυκλοφορία Stagnation test
17-3-2012	Φυσική Ελεύθερη Ροή

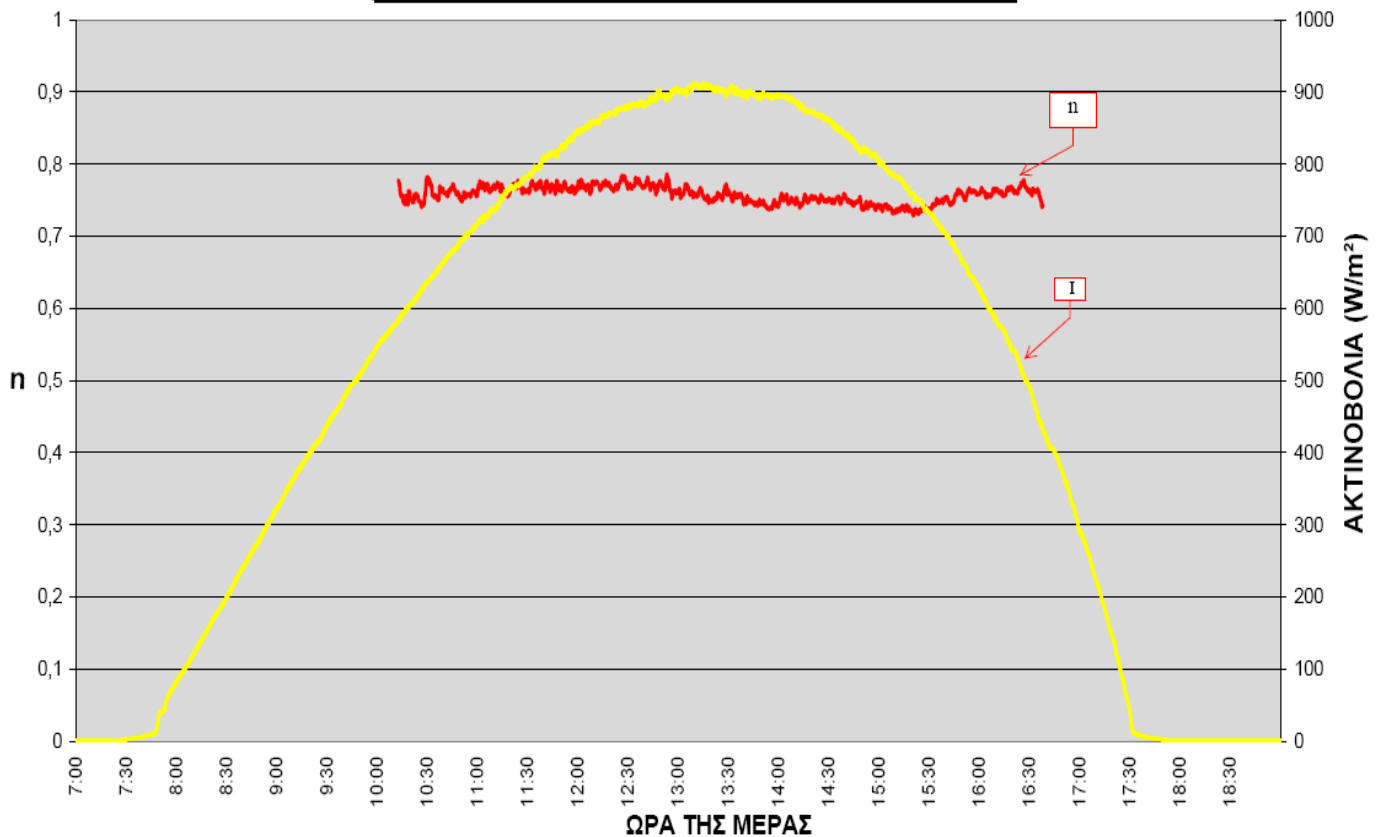
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² 22/01/2012, 260 m³/h



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα θερμοκρασιών συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου

Στο σχήμα 4.1 παρατηρούμε πως σε μια ιδιαίτερα κρύα μέρα με θερμοκρασία αναρρόφησης $T_i=12^\circ\text{C}$ (είσοδος) (13:30) που ταυτίζεται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a , ο συλλέκτης κατορθώνει να φτάσει τους $T_o = 43^\circ\text{C}$ στην προσαγωγή(έξοδος) δηλ. με $\Delta T_{\text{αέρα}} = T_o - T_i = 43 - 12 = 31^\circ\text{C}$ που είναι και το ενεργειακό όφελος. Επίσης παρατηρούμε πως η μέγιστη θερμοκρασία εσωτερικά του συλλέκτη(Αισθητήριο τοποθετημένο σε σημείο κοντά στον απορροφητή προς την έξοδο) αγγίζει τους $T_m = 46^\circ\text{C}$ γεγονός που μας δείχνει πως έχουμε μια πολύ καλή εκμετάλλευση της ενέργειας που προσφέρεται από τον απορροφητή προς το ρεύμα αέρα που διέρχεται μέσα από τον συλλέκτη, διότι T_o προσεγγίζει T_m . Άρα μπορούμε συμπερασματικά να καταλήξουμε πως με παροχή $260\text{ m}^3/\text{h}$ μετρημένη στην προσαγωγή, ο συλλέκτης λειτουργεί πολύ κοντά στο μέγιστο σημείο εκμετάλλευσης της προσφερόμενης ηλιακής ενέργειας, βεβαία αυτό ισχύει μόνο για τις συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος.

ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m², 22/01/2012, 260 m³/h



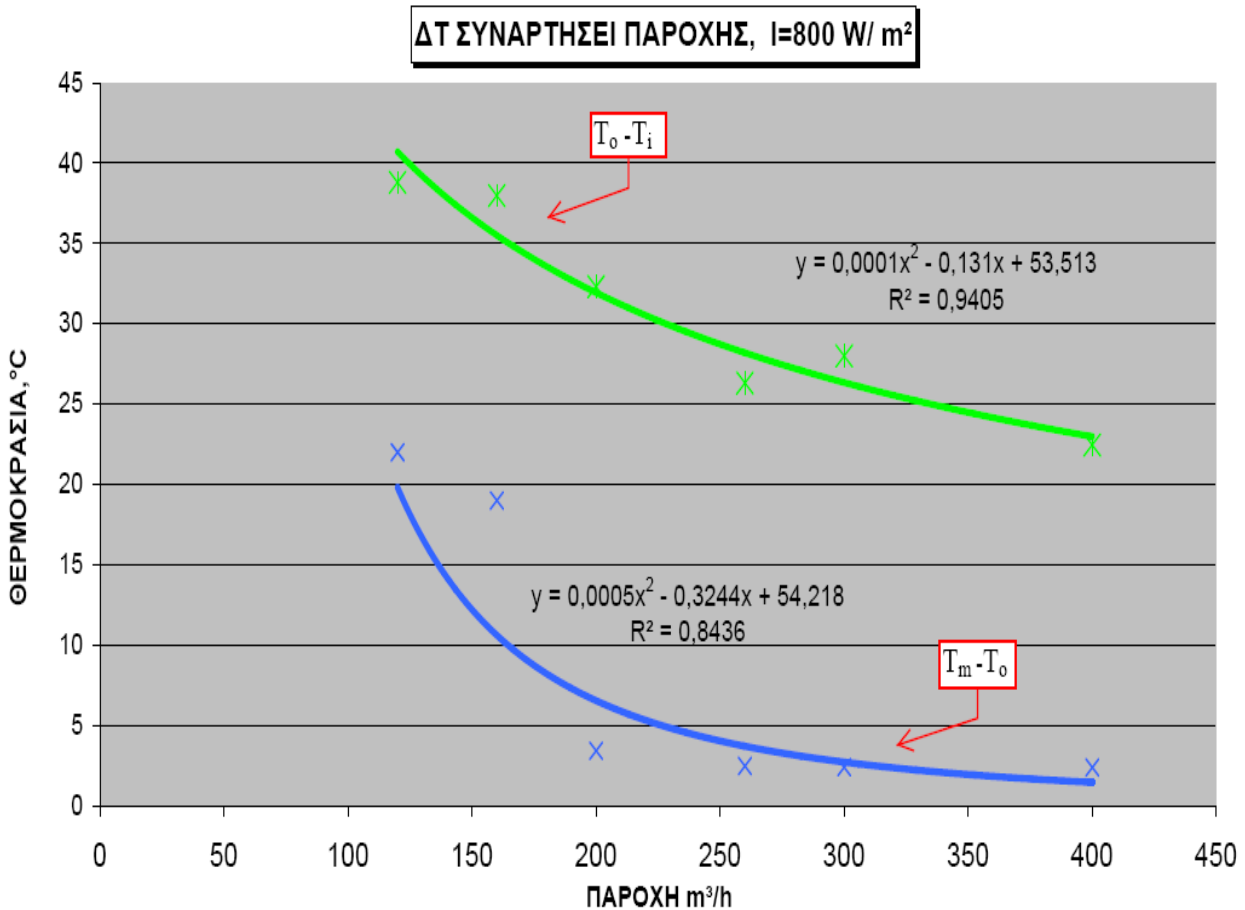
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα στιγμιαίας απόδοσης συναρτήσει ακτινοβολίας και χρόνου

Στο σχήμα 4.2 παρατηρούμε ότι σε συνθήκες σταθερής λειτουργίας (πολύ κοντά σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης) η στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη (εξ. 3.1) είναι περίπου $n = 0,76$ (13:30) για 900 W/m^2 γεγονός που επιβεβαιώνει το προηγούμενο σχόλιο ότι ο συλλέκτης λειτουργεί πολύ κοντά στον μέγιστο βαθμό λειτουργίας. Όπως προκύπτει από την (εξ. 3.10) ο θεωρητικά μέγιστος βαθμός απόδοσης είναι $85,5\%$ άρα προσεγγίζουμε και τη μέγιστη εκμετάλλευση από τον συλλέκτη. Συνεπώς ο ΗΣΑ για σταθερή παροχή αέρα $260 \text{ m}^3/\text{h}$ και προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία 900 W/m^2 λειτουργεί πολύ κοντά στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας.

Πίνακας 4.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων για $I = 800 \text{ W/m}^2$, $A = 3,5 \text{ m}^2$

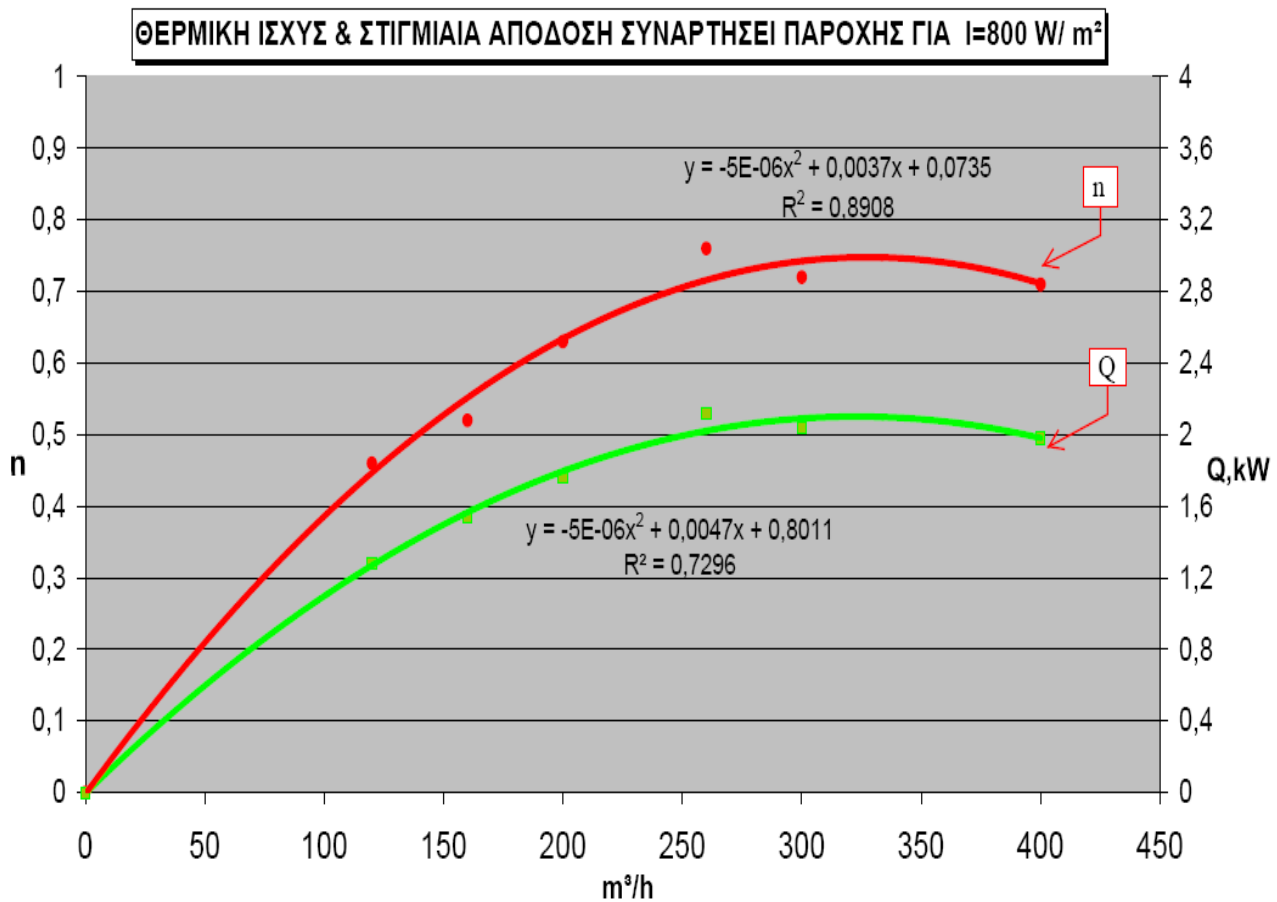
	Προσαγωγή m^3/h	Στιγμιαία απόδοση n	$\Delta T = T_o - T_i$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T = T_m - T_o$ ($^{\circ}\text{C}$)	Ωφέλιμη Θερμική ισχύς Q (kW)	I W/m^2
1	400	0,71	22,45	2,38	1,98	800
2	300	0,72	28	4,9	2,12	800
3	260	0,76	26,31	2,47	2,07	800
4	200	0,63	32,31	3,42	1,76	800
5	160	0,52	37,98	19	1,54	800
6	120	0,46	38,8	22	1,28	800

Στον πίνακα 4.2 συγκεντρώνονται τα δεδομένα με βάση τα οποία χαρακτηρίστηκαν οι καμπύλες χαρακτηριστικής λειτουργίας του ΗΣΑ τα οποία θα σχολιαστούν στα αντίστοιχα σχήματα.



Σχήμα 4.3: Διαφορά θερμοκρασιών συναρτήσει παροχής

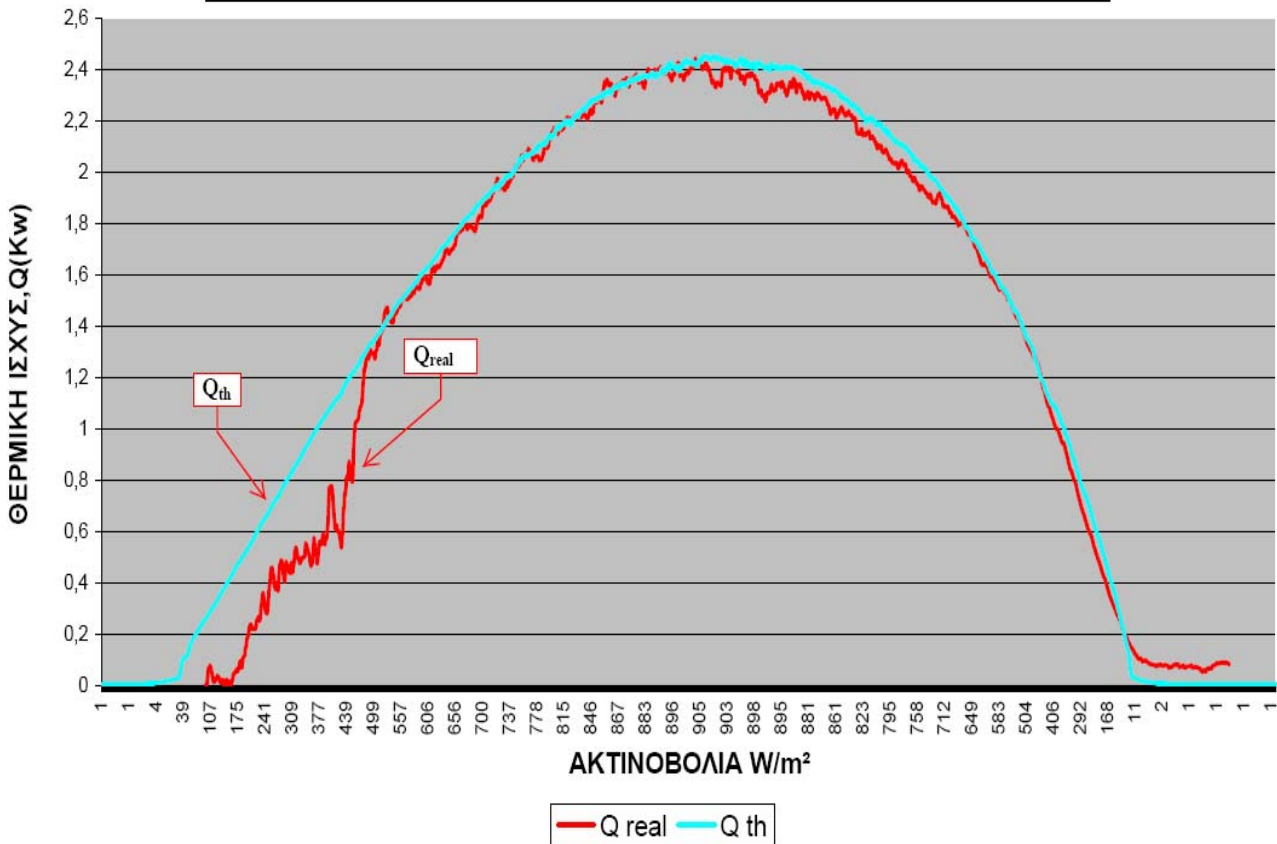
Στο σχήμα 4.3 παρατηρούμε ότι α) η χαρακτηριστική $(T_o - T_i)$ δηλ. η μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας προσαγωγής T_i μείον την θερμοκρασία εισαγωγής T_o συναρτήσει της παροχής μειώνεται με την αύξηση της παροχής αέρα, γεγονός που μεταφράζεται πως η παρεχόμενη ποσότητα αέρα καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία προσαγωγής δηλ. μικρή παροχή ~ υψηλή θερμοκρασία στην εξόδου. β) στη χαρακτηριστική $(T_m - T_o)$ η μεταβολή της διαφοράς της μέγιστης εσωτερικά θερμοκρασίας T_m μείον της θερμοκρασία προσαγωγής T_o φτάνει την ελάχιστη τιμή της 3 C° για παροχές από 200 m³/h έως 400 m³/h και έπειτα προσεγγίζει ασύμπτωτικά τον άξονα X, άρα η μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής θερμικής ισχύς τείνει να βελτιώνεται όσο αυξάνει η παροχή αέρα..



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα απόδοση n και ωφέλιμης θερμικής ισχύς Q συναρτήσει παροχής αέρα για $I=800 \text{ W/m}^2$

Στο σχήμα 4.4 παρατηρούμε ότι α) η στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη (3.1) αυξάνει με την αύξηση της παροχής αέρα και σταθεροποιείται προσωρινά στην περιοχή $260 \text{ m}^3/\text{h}$, στην συνέχεια φθίνει για παροχές από $260 \text{ m}^3/\text{h}$ έως $400 \text{ m}^3/\text{h}$, παρατηρούμε πως και φθάνει στην μέγιστη τιμή της 74% για $260 \text{ m}^3/\text{h}$ γεγονός που έχει σημειωθεί στο διαγράμματα 4.1 όπου διαπιστώθηκε και η μέγιστη εκμετάλλευση της προσφερόμενης ισχύς β) Η ωφέλιμη θερμική ισχύς αυξάνει με την αύξηση την παροχής και σταθεροποιείται προσωρινά στην περιοχή $260 \text{ m}^3/\text{h}$, στην συνέχεια φθίνει αντίστοιχα για παροχές από $260 \text{ m}^3/\text{h}$ έως $400 \text{ m}^3/\text{h}$, αποτέλεσμα αναμενόμενο αφού μειώνεται το ΔT στην προσαγωγή αλλά μεγαλώνει η ποσότητα του αέρα.

**ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ & ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5 m² 22-1-2012, 260 m³/h**

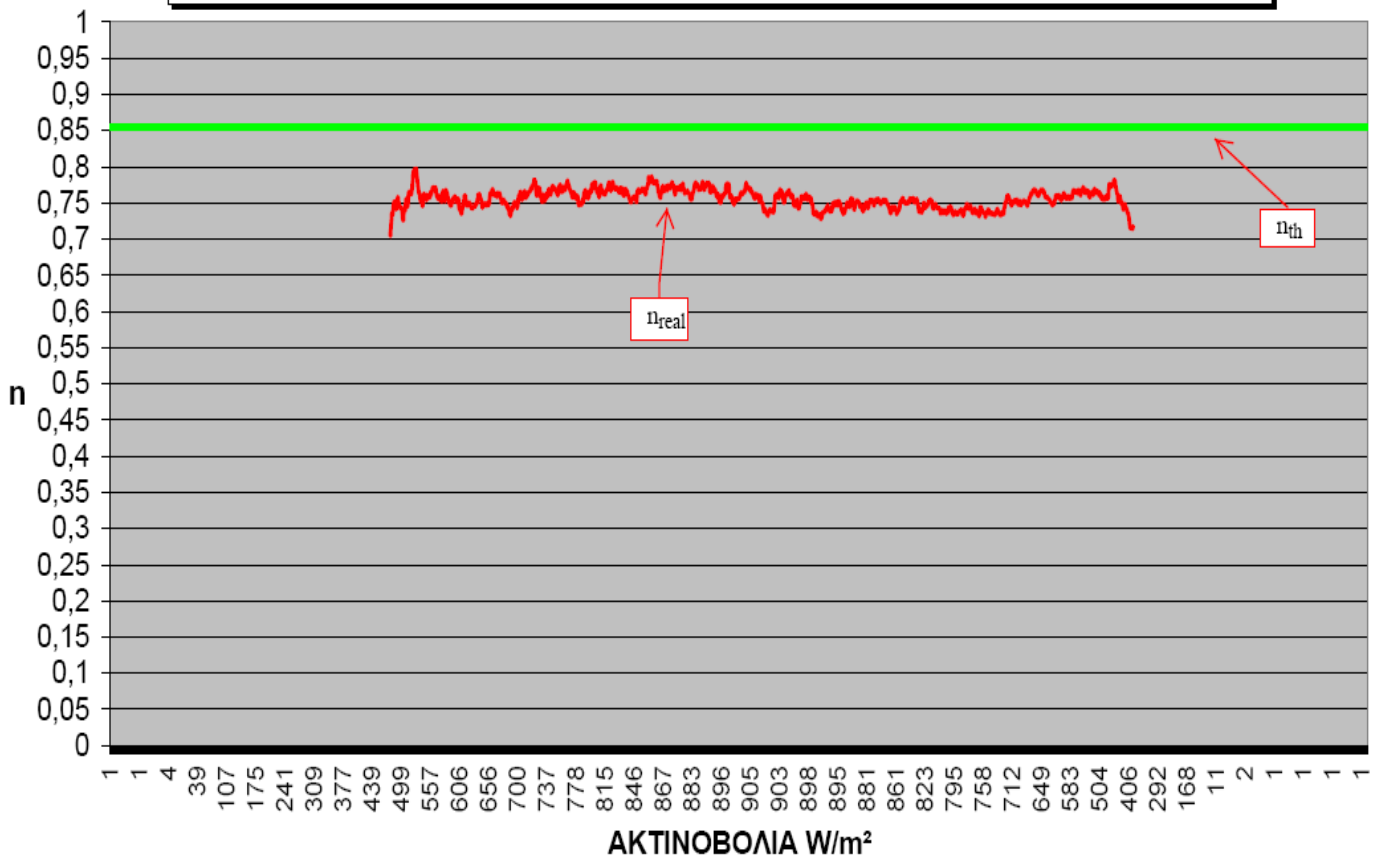


Σχήμα 4.5: Διάγραμμα αποδιδόμενης θερμικής ισχύς (Q_{th}) θεωρητικά & πειραματικά (Q_{real}) συναρτήσει ακτινοβολίας

Στο σχήμα 4.5 παρατηρούμε πως μεταξύ θεωρητικά μετρούμενης (εξ.3.10) και πειραματικά μετρούμενης ωφέλιμης θερμικής ισχύς (εξ. 3.2) για συγκεκριμένη παροχή αέρα 260 m³/h, υπάρχει μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Η πυκνότητα του αέρα καθώς και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C_p) του αέρα αλλάζει συνεχώς με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Για λόγους απλοποίησης της εξίσωση (3.2), όπως έχει ήδη προαναφερθεί, πάρθηκε η μέση τιμή του ειδικού όγκου του αέρα ($u=1/\rho$) για το εύρος των μετρούμενων θερμοκρασιών. Έτσι παρατηρούμε πως η απόκλιση μειώνεται κατά την διάρκεια της μέρας και προς το τέλος της σχεδόν, έχουμε ταύτιση των δυο καμπυλών.

Η ομοιότητα των δυο καμπυλών υποδηλώνει πως η θεωρητική προσέγγιση (3.4) με την πειραματική (3.2) για την εύρεση της αποδιδόμενης ισχύος του απορροφητή δεν έχουν μεγάλη απόκλιση και επιβεβαιώνει την θεωρεία μας .

**ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ & ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5 m² 22-1-2012, 260 m³/h**



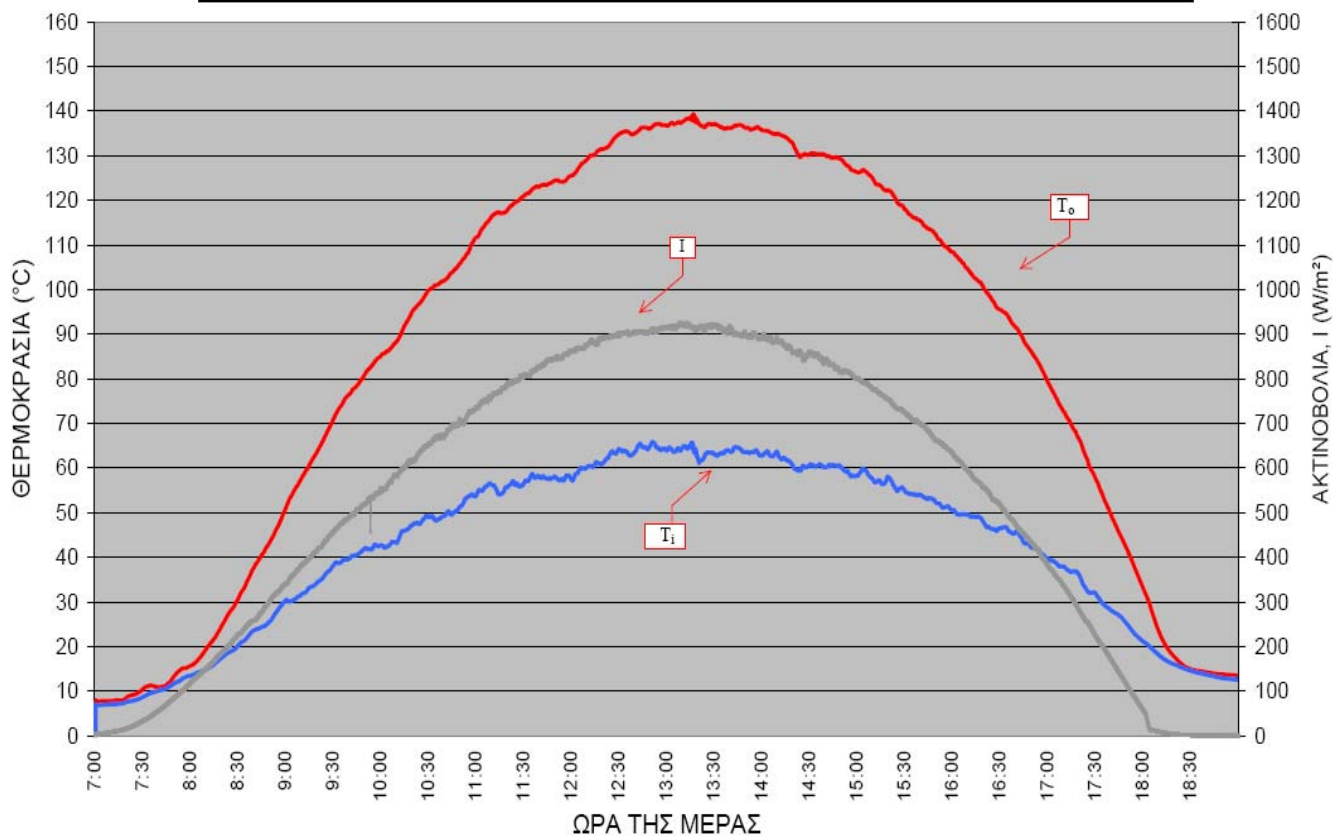
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα μεγίστου θεωρητικά βαθμού απόδοσης η_{th} & βαθμού απόδοσης πειραματικά η_{real} συναρτήσει ακτινοβολίας I

Παρατηρούμε πως η θεωρητικά μέγιστη απόδοση είναι σταθερή γραμμή και παράλληλη προς τον άξονα XX' . Η πειραματικά στιγμιαία ισχύς είναι σχεδόν παράλληλη της θεωρητικής με μικρές αυξομειώσεις. Ενώ στο γράφημα της ωφέλιμης θερμικής ισχύς σχήμα 4.5 υπάρχει σχετική προσέγγιση θεωρητικής και πραγματικής ωφέλιμης θερμικής ισχύς, στο γράφημα του βαθμού απόδοσης (σχήμα 4.6) μεταξύ θεωρητικής μέγιστης απόδοσης (εξ.3.11) και πραγματικής απόδοσης (εξ. 3.1) υπάρχει απόκλιση που οφείλεται στην προσέγγιση που σκόπιμα κάναμε ότι έχουμε σχεδόν μηδενικές απώλειες προς το περιβάλλον. Αν πάρουμε υπόψη μας την παραπάνω απόκλιση θα διαπιστώσουμε πως είναι της τάξεως του $(0,86-0,74 = \sim 0,12)$ άρα 12 % αντιπροσωπεύουν τις απώλειες (Q_{loss}) από τον συλλέκτη (πίσω, πλάι και μπροστινή πλευρά) προς το περιβάλλον και είναι ποσοτικά ίση με:

$$Q_{loss} = Q_{abs} \times 12 \% \quad (4.1)$$

Άρα οι απώλειες είναι ίσες με το 12 % της θερμική ισχύος που απορροφά (Q_{abs}) ο απορροφητής για συγκεκριμένη παροχή αέρα και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

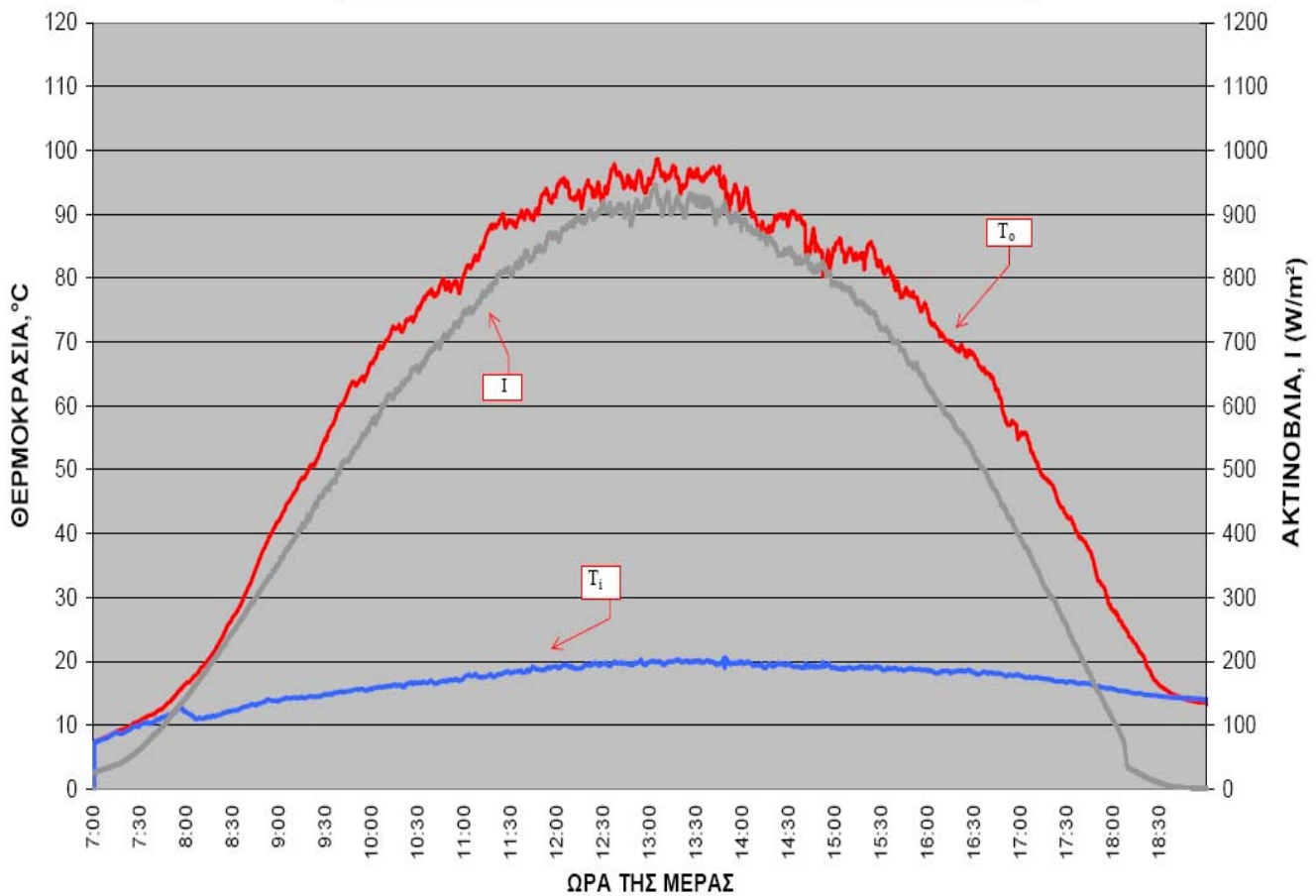
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΤΕΣΤ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΚΟΡΕΣΜΟΥ 25/2/2012



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα θερμοκρασιών εισόδου T_i και εξόδου T_o συναρτήσει ακτινοβολίας I και χρόνου για συνθήκες κορεσμού

Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζονται οι θερμοκρασίες στην είσοδο και εξόδο του συλλέκτη αέρος όταν αυτός βρίσκεται σε συνθήκες κορεσμού δηλ όταν η εισαγωγή του αέρα T_i είναι η έξοδος T_o του συλλέκτη και ο ανεμιστήρας είναι απενεργοποιημένος. Τότε έχουμε 100% ανακυκλοφορία του αέρα, έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε ποια είναι μέγιστη θερμοκρασία του συλλέκτη σε κατάσταση κορεσμού (stagnation temperature)[26]. Στο διάγραμμα που απεικονίζεται η μέγιστη θερμοκρασία εξόδου είναι ~ 140 °C όταν η εισαγωγή είναι ~ 65 °C, να σημειωθεί ότι ο συλλέκτης στη συγκεκριμένη μέτρηση είναι σε κατακόρυφη θέση έτσι ώστε να διευκολυνθεί η άνοδος του ζεστού αέρα προς την έξοδο του συλλέκτη. Συνεπώς καταλήγουμε πως η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να φθάσει ο συλλέκτης είναι 140°C.

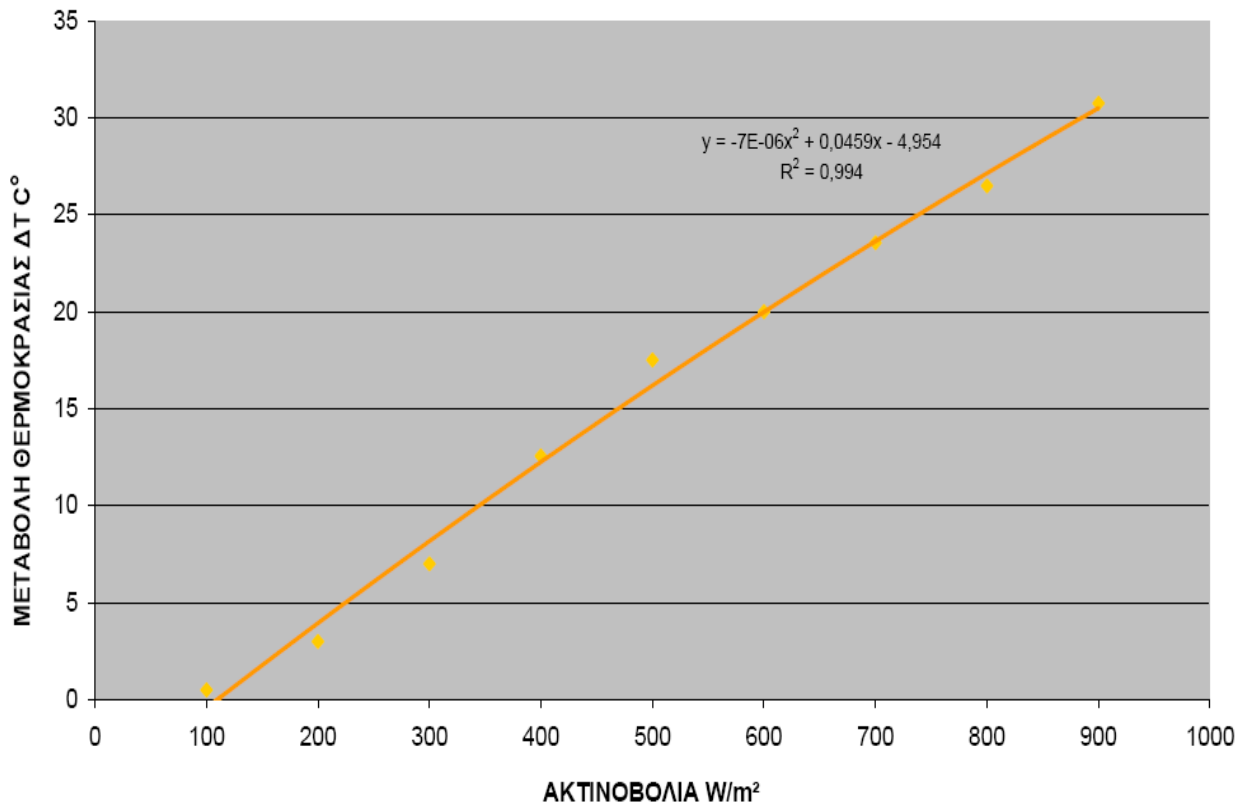
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΦΥΣΙΚΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΡΟΗ, 18/3/2012



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα θερμοκρασιών εισόδου T_i και εξόδου T_o συναρτήσει ακτινοβολίας I και χρόνου για συνθήκες ελεύθερης φυσικής κυκλοφορίας

Στο Σχήμα 4.8 απεικονίζονται οι θερμοκρασίες στην είσοδο και έξοδο του ΗΣΑ όταν αυτός βρίσκεται σε συνθήκη ελεύθερης φυσικής κυκλοφορίας με το περιβάλλον, δηλ όταν η εισαγωγή και έξοδος του συλλέκτη από και προς το περιβάλλον είναι ελεύθερες και η κίνηση του αέρα γίνεται με φυσικό τρόπο προς αυτόν. Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέγιστη θερμοκρασία εξόδου ~98 °C όταν η εισαγωγή είναι ~20 °C, να σημειωθεί ότι ο συλλέκτης στη συγκεκριμένη μέτρηση είναι σε κατακόρυφη θέση έτσι ώστε να διευκολυνθεί η άνοδος του ζεστού αέρα προς την έξοδο του συλλέκτη. Καταλήγουμε πως η μέγιστη μεταβολή στην θερμοκρασία του συλλέκτη προσεγγίζει 78°C όταν έχουμε 100% φρέσκο (νωπό) αέρα με φυσική κυκλοφορία.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔΤ) ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΓΙΑ 260 m³/h



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας (ΔΤ) συναρτήσει ακτινοβολίας I για σταθερή παροχή 260 m³/h

Στο Σχήμα 4.8 παρατηρούμε την καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας ΔΤ ($T_i - T_o$) συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας για σταθερή παροχή 260 m³/h, που είναι και η παροχή που προκαλεί την μεγαλύτερη απόδοση στον ΗΣΑ όπως αυτό παρατηρήθηκε στα προηγούμενα διαγράμματα. Είναι φανερό πως με την αύξηση της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνεται και η μεταβολή του ΔΤ, γεγονός αναμενόμενο αφού όσο αυξάνει η παρεχόμενη ισχύς σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης θα αυξάνει και το ΔΤ.

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε πως ο Ηλιακός Συλλέκτης Αέρος είναι μια εφαρμογή εξαιρετικά αποτελεσματική αφού με σχετικά μικρό κόστος κατασκευής και μηδενική συντήρηση μπορούμε να έχουμε θέρμανση 100% δωρεάν από τον ήλιο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ως προς τις εφαρμογές αφού με μικρές παρεμβάσεις στην παροχή του αέρα, δίνεται η δυνατότητα μεταβολής της θερμοκρασία στην προσαγωγή με βάση τις απαιτήσεις λειτουργίας.

- Η βέλτιστη λειτουργία του Ηλιακού συλλέκτη (μέγιστη εκμετάλλευση) αέρος επετεύχθητε την **22-1-2012** με παροχή στην έξοδο (προσαγωγή) 260 m³/h, (ο συλλέκτης τοποθετήθηκε σε οριζόντια θέση) επιτύχαμε τη μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ προσαγωγής αέρα T₀ με τη μέγιστη ενδεικτική θερμοκρασία T_m στο εσωτερικού συλλέκτη T_m - T₀ = 3°C. Άρα επετεύχθητε η μέγιστη μεταφορά ενέργειας από τον απορροφητή στο ρεύμα αέρος δηλ η μέγιστη εκμετάλλευση της προσφερόμενης ενέργειας από τον απορροφητή. Η θερμοκρασία προαγωγής του αέρα έφτασε τους T₀=43°C στα 900 Watt/m² όταν είχαμε θερμοκρασία αναρρόφησης T_i=12°C δηλ. ΔT=31. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί πως η εξωτερική θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 12°C. Άρα σε μια σχετικά κρύα μέρα (αυξημένες απώλειες) με έντονη ηλιακή ακτινοβολία ο συλλέκτης παρήγαγε 2,4 kW με συντελεστή απόδοσης 76 % στα 260 m³/h.
- Στις υπόλοιπες δοκιμές κατά την διάρκεια του έτος γίνεται φανερό πως ο συλλέκτης μπορεί να έχει ένα εύρος λειτουργίας από 120 έως 400 m³/h με θερμοκρασία προσαγωγής από 70 έως 43°C αντίστοιχα. Συνεπώς δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές είτε οικιακές είτε βιομηχανικές.
- Η μέγιστη θερμοκρασία που επετεύχθητε στον συλλέκτη στο τεστ κορεσμού (stagnation test) δηλ με 100% ανακυκλοφορία με τον συλλέκτη σε κατακόρυφη θέση, μετρήθηκε θερμοκρασία εξόδου 140 °C που είναι και η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει ο συλλέκτης.
- Στο πείραμα με ελεύθερη φυσική κυκλοφορία και 100% φρέσκο αέρα δηλ. με ελεύθερη εισαγωγή και εξαγωγή του αέρα προς το περιβάλλον, με τον συλλέκτη σε κατακόρυφη θέση, επιτεύχθηκε θερμοκρασία εξόδου 95 °C.
- Οι απώλειες του συλλέκτη όπως πειραματικά αποδείχτηκε είναι το 12 % της ενέργειας που απορροφά.

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{abs}} \times 12 \%$$

5.1 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Ένα από τα πεδία που ανοίγεται προς διερεύνηση είναι:

A) Ποια πρέπει να είναι η διαμόρφωση της διεύθυνσης ροής του ρεύματος αέρα ώστε να έχουμε την βέλτιστη απόδοση του ΗΣΑ.

B) Ποια πρέπει να είναι η βέλτιστη ταχύτητα και πίεση του αέρα, στο εσωτερικό του συλλέκτη, ώστε να έχουμε ην βέλτιστη απόδοση.

Γ) Να τυποποιηθεί ο τρόπος μέτρησης της απόδοσης του συλλέκτη.

ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β.Ι ΛΕΝΙΝ, Άπαντα, 4 έκδοση, τόμος 15
- [2] Καλδέλης: `` Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας `` εκδόσεις Σταμούλη,2005, Αθηνά
- [3] Φραγκιαδάκης: `` Φωτοβολταϊκά Συστήματα εκδόσεις Ζήτη, 2007,Θεσσαλονίκη
- [4] Σημειώσεις [Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας](#), Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2004 Ηράκλειο
- [5] Α.Αλεξιάκης:`` Αιολική Ενέργεια`` εκδόσεις Σιδέρη,2002,Αθήνα
- [6] Alsema, E. (1999). “Energy Requirements and CO2 Mitigation Potential of PV Systems.”
- [7] Αρθούρος Ζερβός , (2008) , Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , σελ. 5 ,15 – 17
- [8] Keith Lovegrove , Andreas Luzzi , Solar Thermal Power Systems , σελ. 223 , σελ. 224
- [9] San Diego Regional Renewable Energy Group , (2005) , Potential for renewable energy in the San Diego Region σελ. (9 – 10).
- [10]Close D. J., “The performance of solar water heaters with natural circulation”, Solar Energy, Vol. 6, pp. 33-40, 1962]
- [11] Franz Trieb , Christoph Schillings , Marlene O’Sullivan , Thomas Pregger , Carsten Hoyer – Klick, (2009), Global potential of concentrating solar power , σελ.2 , σελ. 3.
- [12] Kohl M., Jorgensen G., Brunold S., Stefan Brunold , Carlsson B., Moller K., Heck M., “Durability of solar energy materials”, Solar Energy 79, 618-624, 2005
- [13] Kehrer M., Kunzel H., Sedlbauer K., “Ecological insulation materials: does sorption moisture affect their insulation performance”, Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 26 No. 3, pp. 207-12, 2003
- [14] Close D. J., “The performance of solar water heaters with natural circulation”, Solar Energy, Vol. 6, pp. 33-40, 1962
- [15] ESTIF, [European Solar Thermal Industry Federation](#)
- [16] EBHE [Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας](#)
- [17] M. Boles – Y.Cengel Θερμοδυναμική για μηχανικούς, εκδόσεις Τζίολα, 2003
- [18] Σημειώσεις Ηλιακής Ενέργειας ,ΤΕΙ Κρήτης ,2005
- [19] Renewable 2007, Global Status Report
- [20] Α. Αντωνόπουλου, καθ. ΕΜΠ Θερμικά –ηλιακά συστήματα, Αθήνα 2004
- [21] Duffie A John., Beckman A. William, “Solar Engineering of Thermal Processes“, second edition. 1991
- [22] Nafey A. S., “Simulation of solar heating systems – An overview”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9, pp. 576-591, 2005
- [23] De Winter F., "Solar Collectors, Energy Storage and Materials", MIT Press, 1990

- [24] Sun & Wind Energy 12/2011
- [25] Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC, εκδόσεις ΚΑΠΕ
- [26] S.J. Harrison, Q. Lin and L.C.S. Mesquita Integral stagnation temperature control for solar collectors, Canada 2004
- [27] Alghoul M.A., Sulaiman M.Y., Azmi B.Z., Wahab M., “Review of materials for solar thermal collectors”, *Anti-Corrosion Methods and Materials* 52/4, 199–206, 2005
- [28] Wu, C., Mantell, S.C. and Davidson, J., (2004), “Polymers for solar domestic hot water: longterm performance of PB and nylon 6, 6 tubing in hot water”, *Solar Energy Engineering*, Vol. 126 No. 1, pp. 581-6
- [29] Σημειώσεις μαθήματος Ηλιακή Ενέργεια, Παν .Αιγαίου, Α. Χαραλαμπίδης
- [30] Josef Buchinger, Resource document Recommendations on testing of solar air collectors ,June 2006
- [31] UNI 8937: Collettori solari piani ad aria ,Determinazione del rendimento termico, Norma Italiana, 1987
- [32] ASHRAE 93-2003, 93-2010 US.American Standard
- [33] T.O.T.E.E. 20701-3/2010
- [34] Duffie A John., Beckman A. William, “Solar Engineering of Thermal Processes“, second edition. 1991
- [35] Mathioulakis E, Voropoulos K., Belessiotis V., “Assessment of uncertainty in solar collector modelling and testing”, *Solar Energy*, Vol. 66 (5), pp. 337-347, 1999
- [36] N. K. Bansal and R. Uhlemann, Development and testing of low cost solar energy collectors for heating air, August 1983
- [37] K.M. Yousif and B.E. Smith ,Development and testing of a solar air heater for a teaching laboratory, UK 1996
- [38] Li Xu a,b, Zhifeng Wang a, Guofeng Yuan a, Xing Li c, Yi Ruan c, A new dynamic test method for thermal performance of all-glass evacuated solar air collectors , China February 2012
- [39] G. Alvarez a,b,1, J. Arce a, L. Lira a, M.R. Heras b,1 Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminium cans, Spain ,March 2004
- [40] A. Kol, E. R. F. Winter and R. Viskanda, Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber, September 1998
- [41] Covered profiled steel cladding as an air heating solar collector: laboratory testing, modelling and validation, K.T.K. Ho, D.L. Loveday, February 1997
- [42] S.P. Sukhatme ,Solar energy, ,σελ171-196, Second edition, 1999

[43] Liu, B. Y. H. and R.C. Jordan. "Daily Insolation on Surfaces Titled Toward and Equator".ASHRAE Journal, 3 (10), 53 (1962).

Παράρτημα Α

ΥΔΙΚΑ:



EFFICIENCY. SOLAR. SURFACES.



Product advantages

EFFICIENCY. SOLAR. SURFACES.

Absorption:

- 10 - year material warranty
- selective coatings system ensures maximum absorption and lowest emission
- all standard joining technologies can be used
- protective film or paper interleaving available upon request
- CO₂ savings per sqm:
100 kg/year compared to natural gas
130 kg/year compared to heating oil
- > 14 Mio sqm supplied and installed worldwide
- more than 1.4 Mio tons CO₂ savings annually
- state-of-the-art continual in-line measurement processes guarantee maximum quality standards
- environmentally friendly/emission-free manufacturing process
- low energy balance

Applications:

- flat plate collectors
- air collectors
- vacuum tube collectors

Reflection:

- 10 - year material warranty
- weather resistant thanks to nano-composite layer
- optimized for highest solar reflection
- UV - resistant
- heat resistant
- easy to clean
- formable
- flexible
- scratchproof
- no delamination
- environmentally friendly/emission - free manufacturing process
- low energy balance

Applications:

- evacuated tube collectors
(CPC Compound Parabolic Concentrator)
- parabolic trough power plants
(CSP Concentrated Solar Power)
- micro parabolic trough
(CST Concentrated Solar Thermal)
- photovoltaics
(CPV Concentrated Photovoltaics)
- solar cookers
- heliostats

Absorption

Technical information

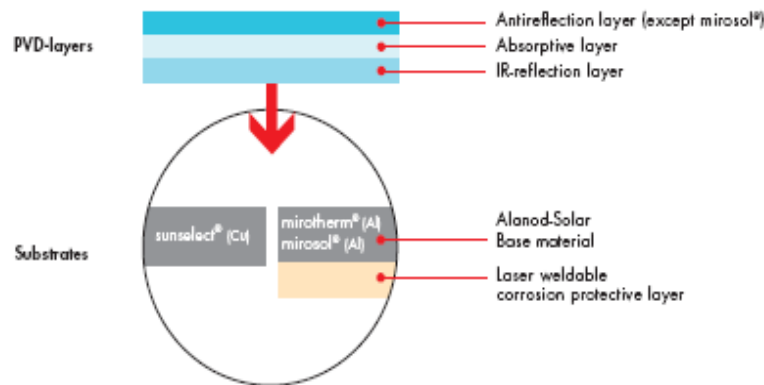
sunselect®, mirotherm® and mirosol®

mirosol® TS

Consists of an aluminium- or copperstrip which has been anodised on both sides; then in a world-wide unique air-to-air process, a system of three layers is applied using the physical vapour deposition technique (PVD). While an infrared reflecting layer ensures low thermal emission (ϵ), the metal oxide absorption- and antireflection layers ensure highest solar absorption (α) while offering resistance against outside agents.

For the first time, besides PVD coatings, selective lacquer is available for solar thermal applications. mirosol TS is a selective lacquer applied in a special developed process on aluminium. The selective lacquer is hydrophob and resistant to fingerprints.

Layer-System

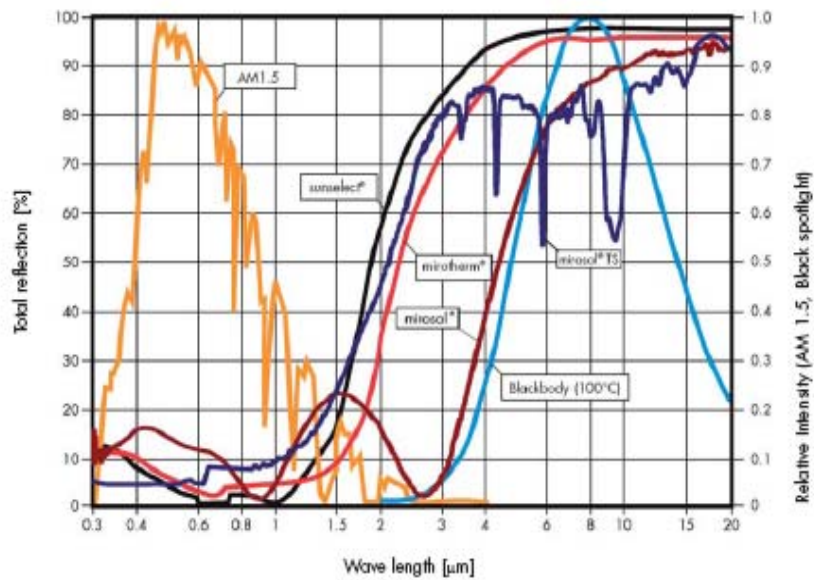


Properties	Parameter	sunselect	mirotherm	Norm
Mechanical	Alloy:	Cu-DHP*, Cu-OF*, Cu-HCP*	Al 1050* or purer	*DIN EN 13599 / *DIN EN 573-3
	Hardness:	Half hard*	Hard*	*DIN EN 1652 / *DIN EN 485-2
Optical	Solar absorption, α_{sol} :	0.95 ± 0.02	0.95 ± 0.01	
	Thermal emission, $\epsilon_{100^\circ C}$:	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.02	
	Colour coordinate a* (D 65):	0 to +14	-12 to 0	DIN 5033
	Colour coordinate b* (D 65):	-35 to -10	-25 to 0	DIN 5033
Physical	Heat conductivity W/(m·K):	295 - 395	210 - 220	
	Specific weight, g/cm³:	8.9	2.7	
Dimensions	Width in mm (inch):	max. 1250 (49.21)	max. 1250 (49.21)	
	Thickness in mm (inch):	0.12 - 0.3 (.0047 - .012)*	0.3 - 0.5 (.012 - .020)*	
Delivery	Coils or sheets with:	Paper interleave or protection foil	Paper interleave or protection foil	
	Innerdiameter 400 or 500 mm:	✓	✓	
Aging test	Passed:	✓	✓	ISO/CD 12592.2 Task X
Warranty	10 years:	✓	✓	

* = other thickness on request

Absorption

Reflection spectrum sunselect®, mirotherm®, mirosol® & mirosol®TS



Properties	Parameter	mirosol	mirosol TS	Norm
Mechanical	Alloy:	Al 1050 ⁺ or purer	Al 1050 ⁺ or purer	⁺ DIN EN 573-3
	Hardness:	Hard ⁺	Half hard ⁺	⁺ DIN EN 485-2
Optical	Solar absorption, $\alpha_{AM1.5}$:	0.90 ± 0.02	0.90 ± 0.02	
	Thermal emission, $\epsilon_{100^\circ C}$:	0.15 ± 0.02	0.20 ± 0.03	
	Colour coordinate a* (D 65):	-12 to +2	-1 to +2	DIN 5033
	Colour coordinate b* (D 65):	-25 to 0	-1 to +2	DIN 5033
Physical	Heat conductivity W/(m·K):	210 - 220	210 - 220	
	Specific weight, g/cm ² :	2.7	2.7	
Dimensions	Width in mm (inch):	max. 1250 (49.21)	max. 1250 (49.21)	
	Thickness in mm (inch):	0.3 - 0.5 (.012 - .020)*	0.3 - 0.5 (.012 - .020)*	
Delivery	Coils or sheets with:	Paper interleave or protection foil	Paper interleave or protection foil	
	Innerdiameter 400 or 500 mm:	✓	✓	
Aging test	Passed:	✓	✓	ISO/CD 12592.2 Task X
Warranty	10 years:	✓	✓	

* = other thickness on request



PALSUN[®]

Technical Manual



III. Characteristics:

A. Typical Properties of PALSUN Sheets

The table depicting the typical properties of PALSUN sheets appears below. Note that some of the displayed properties are typical to polycarbonate (the material PALSUN is made of) while others relate to a typical 3 mm (1/8 in.) thick PALSUN sheet.

Table 3: Typical Properties of PALSUN & PALUF Sheet

Property	Conditions (U.S. Customary) ^a	ASTM Method ^b	Units - SI (U.S. Customary) ^a	Value (U.S. Customary) ^a
Physical				
Density		D-1505	g/cm ³ (lb/ft ³)	1.2 (75)
Water Absorption	24 hr. @ 23°C	D-570	%	0.15
Mechanical				
Tensile strength at yield	10 mm/min (0.4 in./min)	D-638	MPa (psi)	65 (9,400)
Tensile strength at break	10 mm/min (0.4 in./min)	D-638	MPa (psi)	60 (8,800)
Elongation at yield	10 mm/min (0.4 in./min)	D-638	%	6
Elongation at break	10 mm/min (0.4 in./min)	D-638	%	>90
Tensile Modulus of Elasticity	10 mm/min (0.4 in./min)	D-638	MPa (psi)	2,000 (290,000)
Flexural Modulus	1.3 mm/min (0.052 in./min)	D-790	MPa (psi)	2,600 (380,000)
Flexural Strength at Yield	1.3 mm/min (0.052 in./min)	D-790	MPa (psi)	100 (14,500)
Notch Impact Strength Izod	23°C (73°F)	D-256	J/m (ft-lbf/in.)	800 (15)
Notch Impact Strength Charpy	23°C (73°F)	D-256	J/m (ft-lbf/in.)	800 (15)
Impact Falling Weight	3 mm (0.12 in.) Sheet	ISO-6603/1 ^b	J (ft-lbf)	158 (117)
Rockwell Hardness		D-785	R scale / M scale	125 / 75
Thermal				
Long Term Service Temperature			°C (°F)	-75 to +100 (-175 to +212)
Short Term Service Temperature			°C (°F)	-75 to +120 (-175 to +250)
Heat Deflection Temperature	Load: 1.82 MPa (264 psi)	D-648	°C (°F)	130 (265)
Vicat Softening Temperature	Load: 1 kg (2.2 lb)	D-1525	°C (°F)	150 (300)
Coefficient of Linear Thermal Expansion		D-696	10 ⁻⁵ /°C (10 ⁻⁵ /°F)	6.5 (3.6)
Thermal Conductivity		C-177	W/m·K (Btu-in./hr-ft ² -°F)	0.21 (1.46)
Specific Heat Capacity		C-351	kJ/kg·K (Btu/lb·°F)	1.26 (0.31)
Optical				
Haze	3 mm (0.12 in.) Clear Sheet	D-1003	%	<0.5
Light Transmission	3 mm (0.12 in.) Clear Sheet	D-1003	%	89
Refractive Index	Clear Sheet	D-542		1.59
Yellowness Index	3 mm (0.12 in.) Clear Sheet	D-1925		<1
Electrical				
Dielectric Constant	50 Hz	D-150		3.0
	1 MHz	D-150		2.9
Dissipation Factor	50 Hz	D-150		0.9
	1 MHz	D-150		11
Dielectric Strength Short Time	500 V/s	D-149	kV/mm (V/mil)	>30 (>770)
Surface Resistance	Kelley	D-257	Ohm	5.1x10 ¹⁵
Volume Resistance	Kelley	D-257	Ohm-cm	1.3x10 ¹⁷

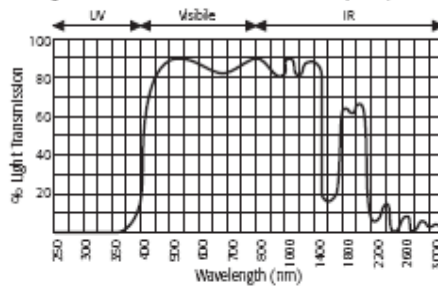
a. Conditions, units and values in U.S. Customary units are presented in the table within parentheses.

b. All the results depicted in this table were obtained by following the indicated ASTM method except where another method is indicated by the appearance of this symbol (b).

C. Optical Characteristics:

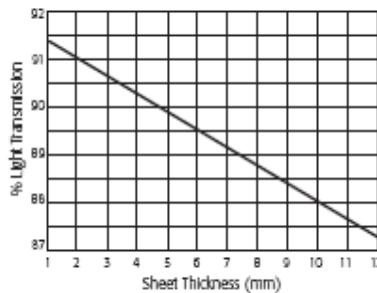
Ultraviolet (UV) Radiation Blocking- PALSUN sheets completely block out potentially harmful UV radiation and a significant portion of infrared (IR) radiation. Over the visible light range, a typical 3 mm (1/8 in.) thick clear PALSUN sheet transmits about 89% (average) of incident light, as seen in Figure 3 below.

Figure 2: % Light Transmission of PALSUN & PALTUF Sheet (3 mm) Versus Wavelength



Light Transmission Versus Thickness- Light transmission decreases slightly with increased thickness (see following graph).

Figure 3: PALSUN & PALTUF Sheet % Light Transmission Versus Sheet Thickness



D. Thermo-Optical Properties

Thermal conductivity is an important factor to consider when choosing a glazing material, due to its influence on thermal efficiency and energy loss in winter (heating) or summer (air-conditioning). PALSUN sheets insulate better than glass, contributing to substantial energy conservation for single glazing.

Table 5: PALSUN vs. Glass K- Values in Single Glazing (W/m² K) Sheet thickness

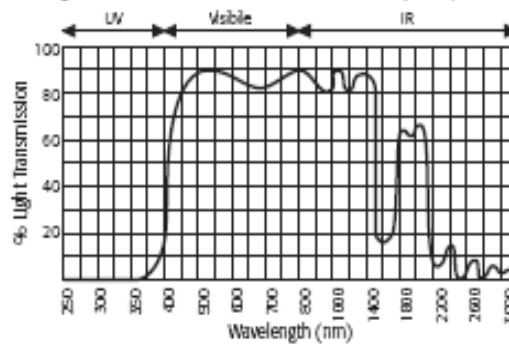
Thickness mm in	PALSUN K Value	GLASS K Value
3.0 (0.12)	5.49	5.87
5.0 (0.20)	5.21	5.80
6.0 (0.24)	5.09	5.77
9.5 (0.37)	4.69	5.68
12.0 (0.47)	4.35	5.58



C. Optical Characteristics:

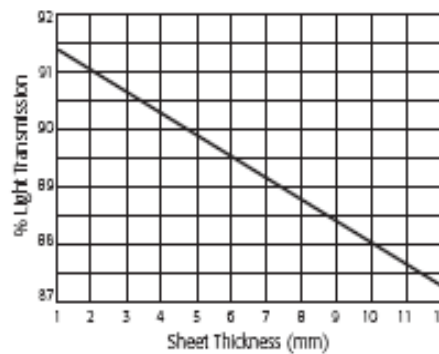
Ultraviolet (UV) Radiation Blocking- PALSUN sheets completely block out potentially harmful UV radiation and a significant portion of infrared (IR) radiation. Over the visible light range, a typical 3 mm (1/8 in.) thick clear PALSUN sheet transmits about 89% (average) of incident light, as seen in Figure 3 below.

Figure 2: % Light Transmission of PALSUN & PALTUF Sheet (3 mm) Versus Wavelength



Light Transmission Versus Thickness- Light transmission decreases slightly with increased thickness (see following graph).

Figure 3: PALSUN & PALTUF Sheet % Light Transmission Versus Sheet Thickness



D. Thermo-Optical Properties

Thermal conductivity is an important factor to consider when choosing a glazing material, due to its influence on thermal efficiency and energy loss in winter (heating) or summer (air-conditioning). PALSUN sheets insulate better than glass, contributing to substantial energy conservation for single glazing.

Table 5: PALSUN vs. Glass K- Values in Single Glazing (W/m² K) Sheet thickness

Thickness mm in	PALSUN K Value	GLASS K Value
3.0 (0.12)	5.49	5.87
5.0 (0.20)	5.21	5.80
6.0 (0.24)	5.09	5.77
9.5 (0.37)	4.69	5.68
12.0 (0.47)	4.35	5.58



Table 6: PALSUN - Solar Light and Radiation Transmission Properties

Product	Thickness mm (in.)	%LT	%LR	%ST	%SR	%SR _t	SC
		ASTM D-1003	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71
Clear	3 (0.12)	88	10	84	10	14	1.00
Bronze 50%	All	50	7	54	7	35	0.75
Bronze 35%	All	35	6	42	6	44	0.64
Bronze 20%	All	20	6	28	6	54	0.52
Solar Grey 50%	All	50	7	54	7	35	0.75
Solar Grey 35%	All	35	6	42	6	44	0.64
Solar Grey 20%	All	20	6	27	6	55	0.51
Solar Metallic* 50%	All	50	24	48	24	44	0.64
Solar Metallic* 35%	All	35	17	35	17	52	0.54
Solar Metallic* 20%	All	20	29	18	28	67	0.36
Standard White Opal	0.8 (0.039)	45	51	46	43	51	0.56
Standard White Opal	1 (0.04)	35	55	40	47	57	0.50
Standard White Opal	1.5 (0.08)	45	50	40	41	55	0.52
Standard White Opal	2 (0.08)	39	54	29	45	64	0.41
Standard White Opal	3 (0.12)	28	58	23	48	70	0.35
Standard White Opal	4 (0.16)	19	59	18	50	73	0.31
Standard White Opal	5 (0.20)	14	60	13	52	77	0.26
Standard White Opal	6 (0.24)	11	61	10	53	80	0.23

*Solar Control

Physical treatments of one surface (embossing, matte) or the addition of a diffuser additive diminish glare and dazzle, preventing damage by direct irradiance. However solar energy is still transmitted through and increases the solar heat gain inside.

PALSUN Solar Control: PALSUN glazing with integrated Solar Control (no laminated layer to peel off) and a light transmission of 20, 35, or 50%, reflects a large portion of far IR radiation (heat).

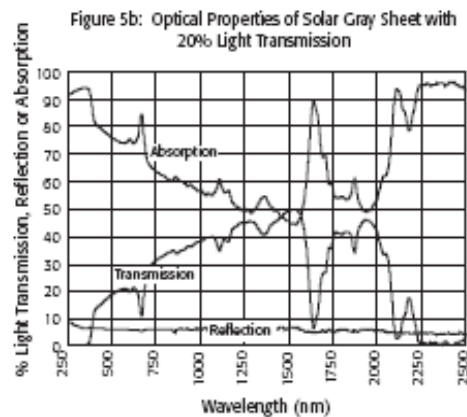
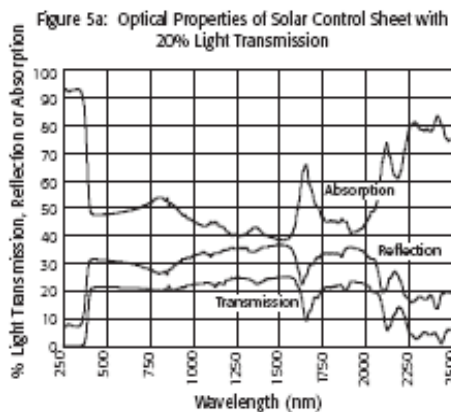




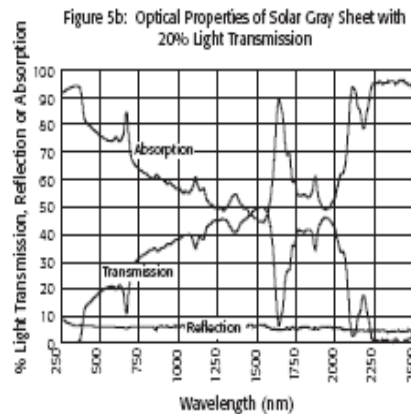
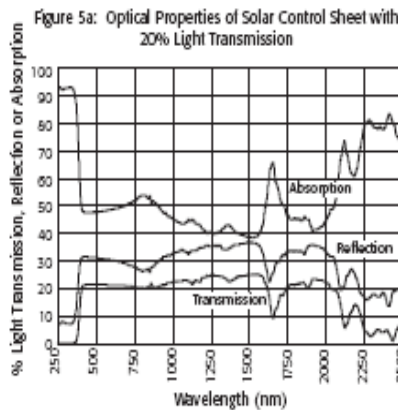
Table 6: PALSUN - Solar Light and Radiation Transmission Properties

Product	Thickness mm (in.)	% LT	%LR	%ST	%SR	%SR _t	SC
		ASTM D-1003	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71	ASTM E424-71
Clear	3 (0.12)	88	10	84	10	14	1.00
Bronze 50%	All	50	7	54	7	35	0.75
Bronze 35%	All	35	6	42	6	44	0.64
Bronze 20%	All	20	6	28	6	54	0.52
Solar Grey 50%	All	50	7	54	7	35	0.75
Solar Grey 35%	All	35	6	42	6	44	0.64
Solar Grey 20%	All	20	6	27	6	55	0.51
Solar Metallic* 50%	All	50	24	48	24	44	0.64
Solar Metallic* 35%	All	35	17	35	17	52	0.54
Solar Metallic* 20%	All	20	29	18	28	67	0.36
Standard White Opal	0.8 (0.039)	45	51	46	43	51	0.56
Standard White Opal	1 (0.04)	35	55	40	47	57	0.50
Standard White Opal	1.5 (0.08)	45	50	40	41	55	0.52
Standard White Opal	2 (0.08)	39	54	29	45	64	0.41
Standard White Opal	3 (0.12)	28	58	23	48	70	0.35
Standard White Opal	4 (0.16)	19	59	18	50	73	0.31
Standard White Opal	5 (0.20)	14	60	13	52	77	0.26
Standard White Opal	6 (0.24)	11	61	10	53	80	0.23

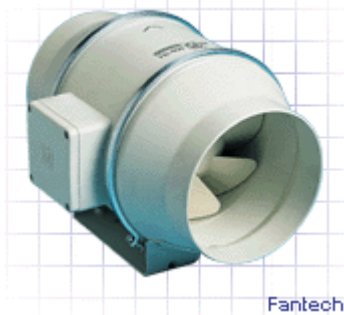
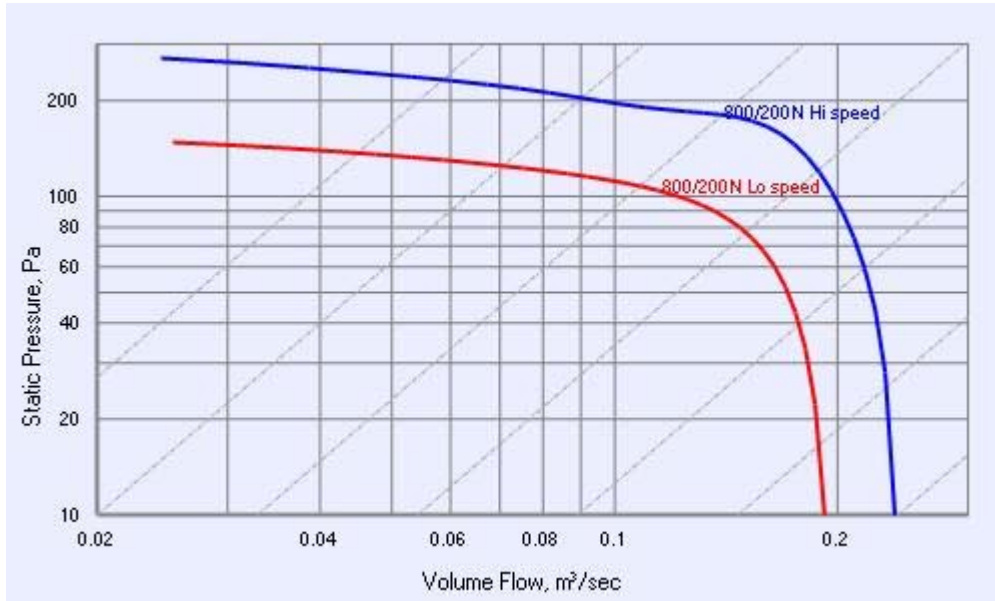
*Solar Control

Physical treatments of one surface (embossing, matte) or the addition of a diffuser additive diminish glare and dazzle, preventing damage by direct irradiance. However solar energy is still transmitted through and increases the solar heat gain inside.

PALSUN Solar Control: PALSUN glazing with integrated Solar Control (no laminated layer to peel off) and a light transmission of 20, 35, or 50%, reflects a large portion of far IR radiation (heat).



Mixvent Series - Mixed-Flow Fans - TD-800/200N Lo



The Mixvent Series is a very compact design of mixed-flow fans that is part of a very flexible system designed specifically for use in homes, hotels and apartments etc., as well as for hot and cold air transfer from one room to another.

Construction

Casings of the 1300/250 and 2000/315 models are of epoxy coated steel; other sizes are of reinforced injection moulded polypropylene plastic. All units are provided with an integral mounting foot.

Impellers are of injection moulded plastic and of mixed-flow design.

Motors

Type - 2-speed. Models 250-350 are shaded pole; 500 and above are squirrel cage induction motor.

Electricity supply - 220-240V, single-phase, 50Hz.

Bearings - sleeve up to size 350/125 and ball for all other models.

Speed-controllable using VA type speed controller in high speed only.

Internal Thermal Protection

By fuse to size 350/125 and for all other models manual-reset thermal overload protection device in accordance with mandatory requirement for in-duct fans AS/NZS60335-2-80:2004

Technical Data

Fan Speed	Avg. dBA @ 3m	kWatts (Input)	Amps	Max. °C	Approx. Weight kg
35	40	0.061	0.30	60	4.9

Mixvent Series - Mixed-Flow Fans - TD-800/200N Lo

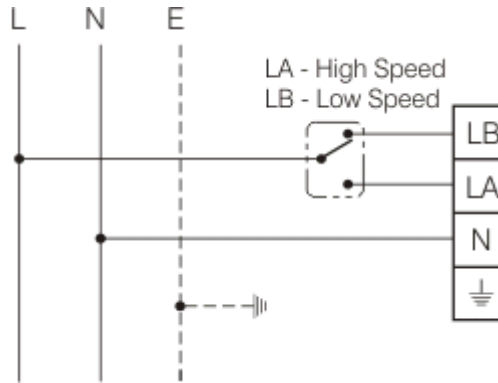
SUGGESTED SPECIFICATION

WIRING DIAGRAM - TD-800/200N Lo

The In-line fans shall be of the Mixvent Series as supplied by Fantech Pty. Ltd.

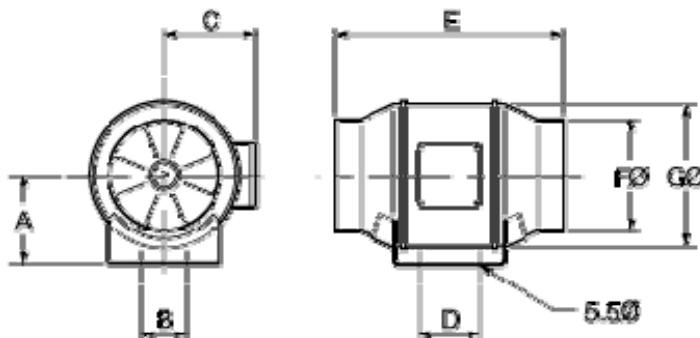
Impellers shall be of mixed flow design and driven by 2-speed single-phase motors with integral thermal protection.

All fans shall be fully tested to BS848:Part, 1980 for air flow and BS848:Part 2, 1985 for noise.



For Special Motors, Contact Fantech for Details.

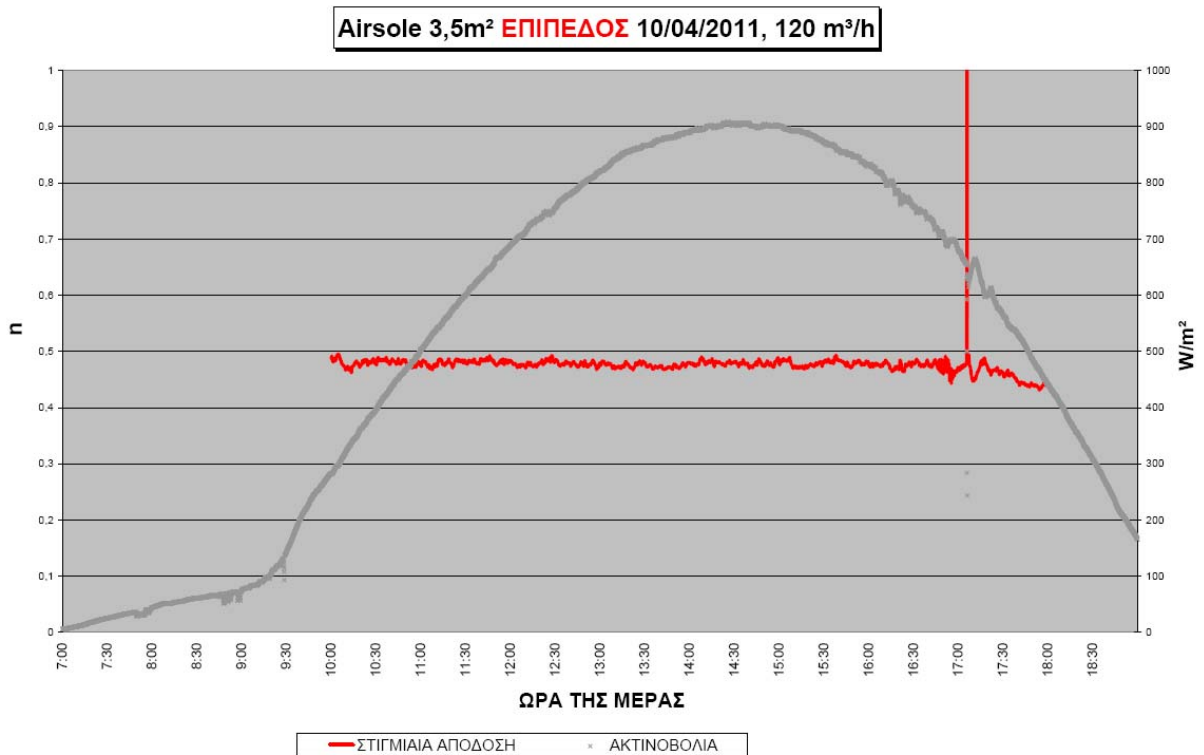
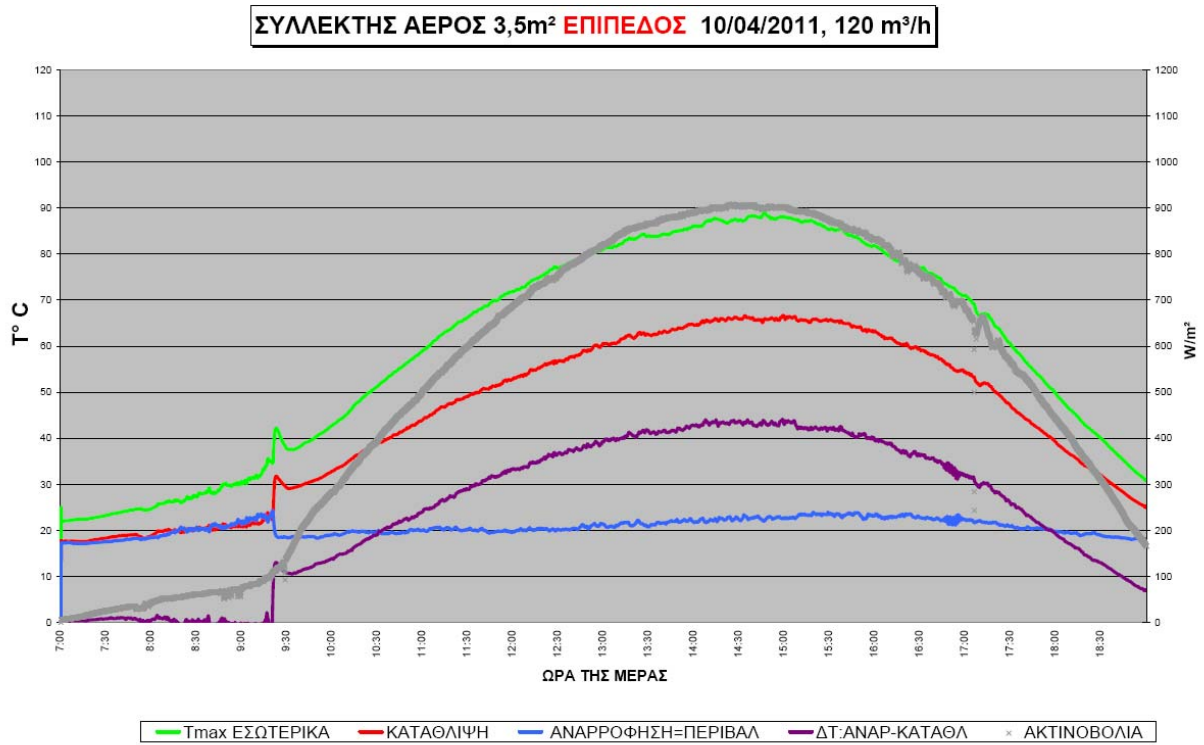
Dimensions, mm



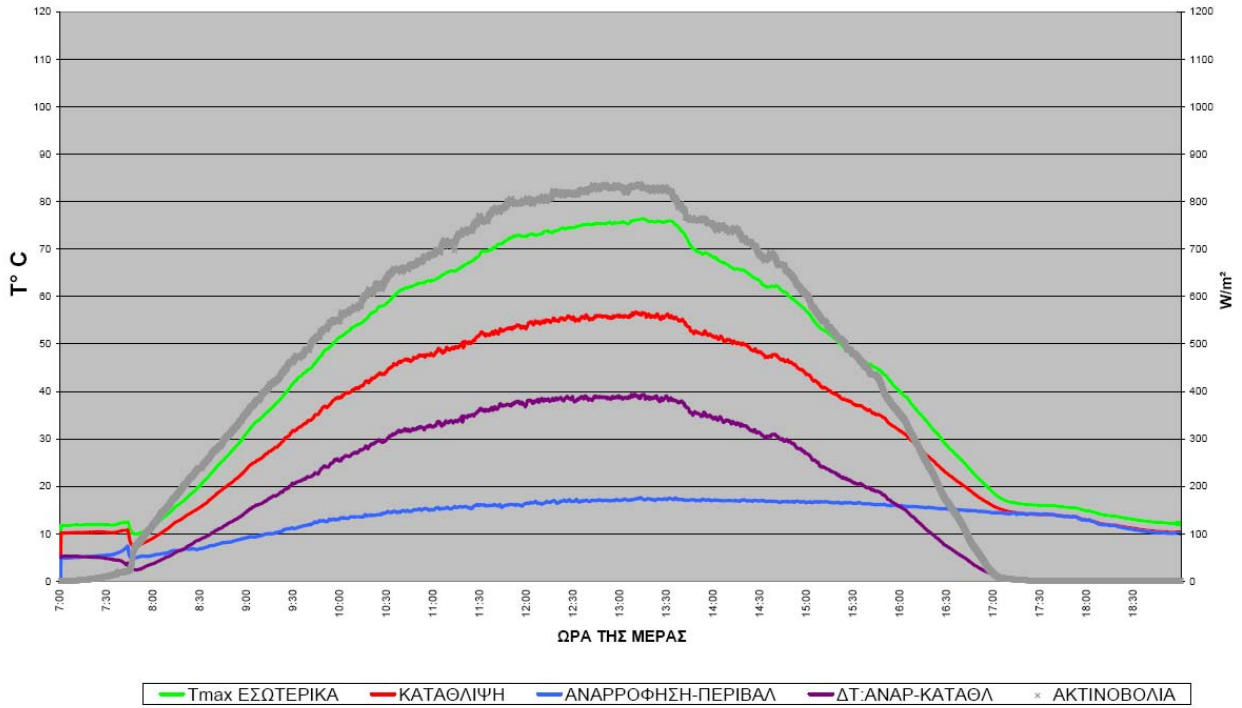
A	B	C	D	E	F	G
124	94	141	100	302	198	217

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

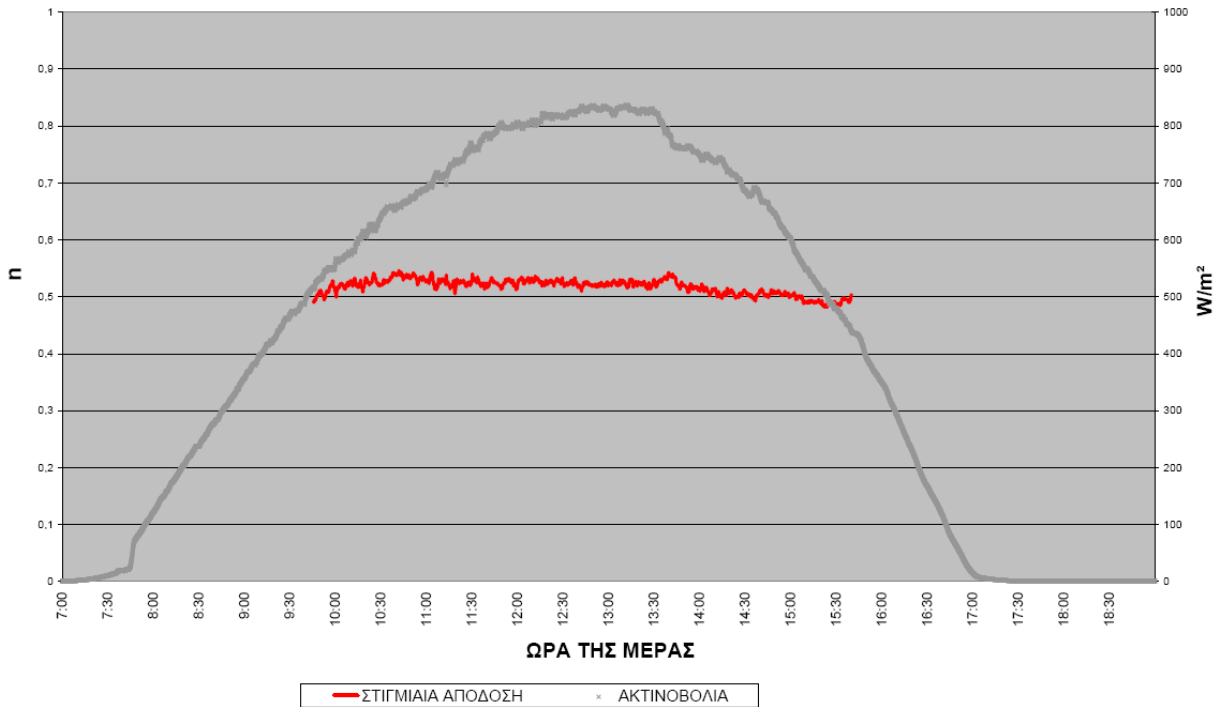
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΙΝΑΚΑ 4.1



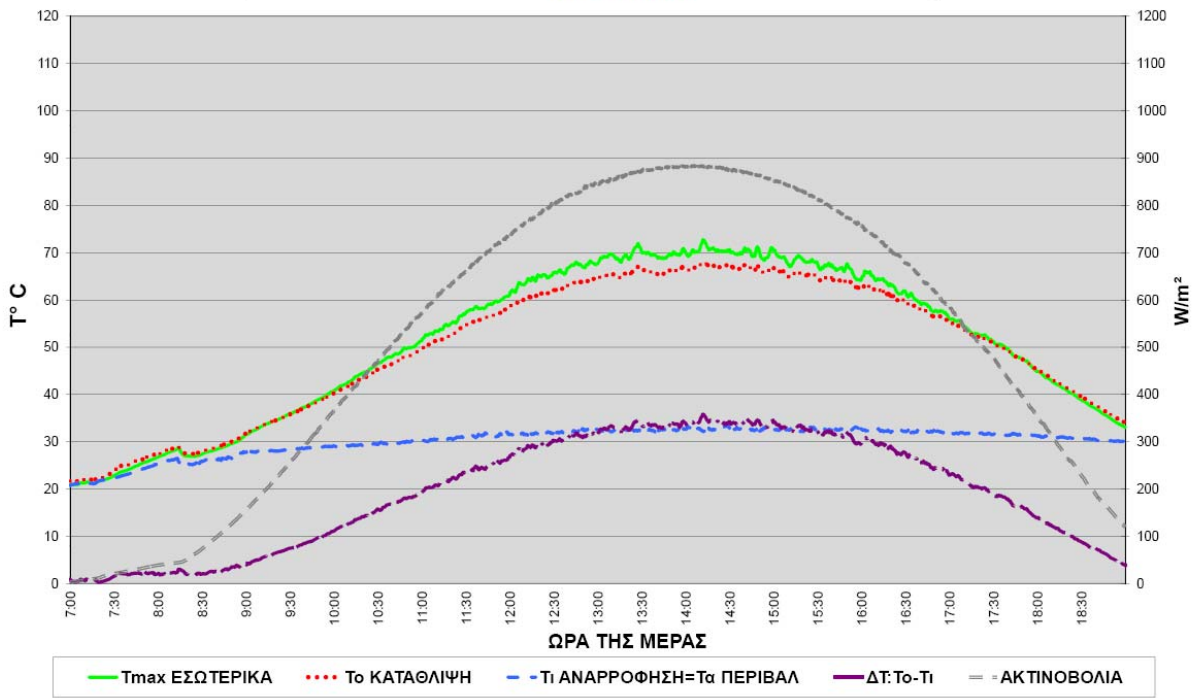
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 1/12/2011, 160 m³/h



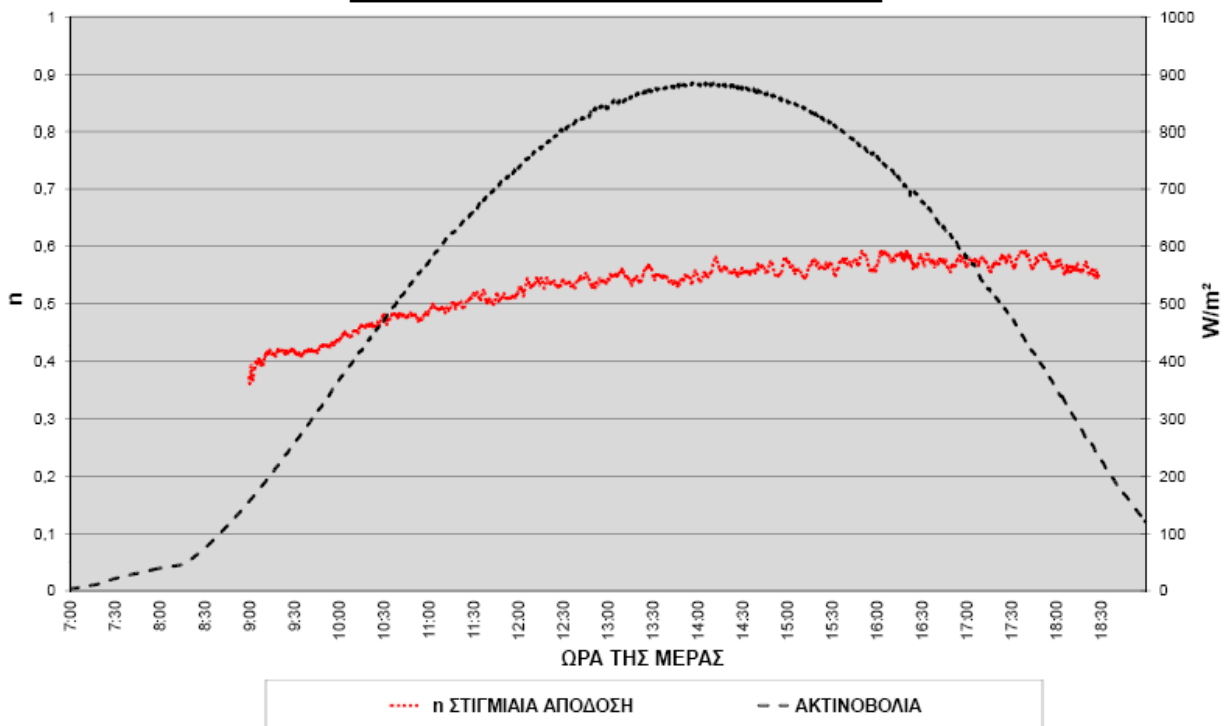
Airsole 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 1/12/2011, 160 m³/h



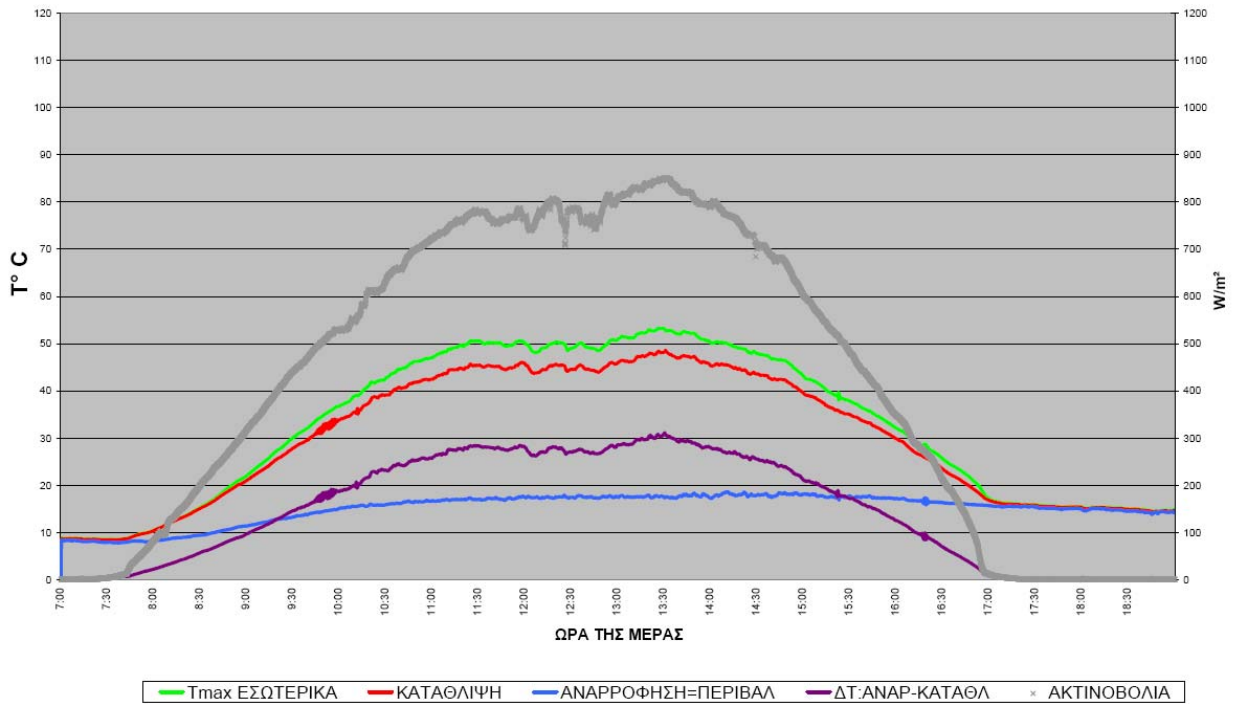
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 11/09/2011, 200 m³/h



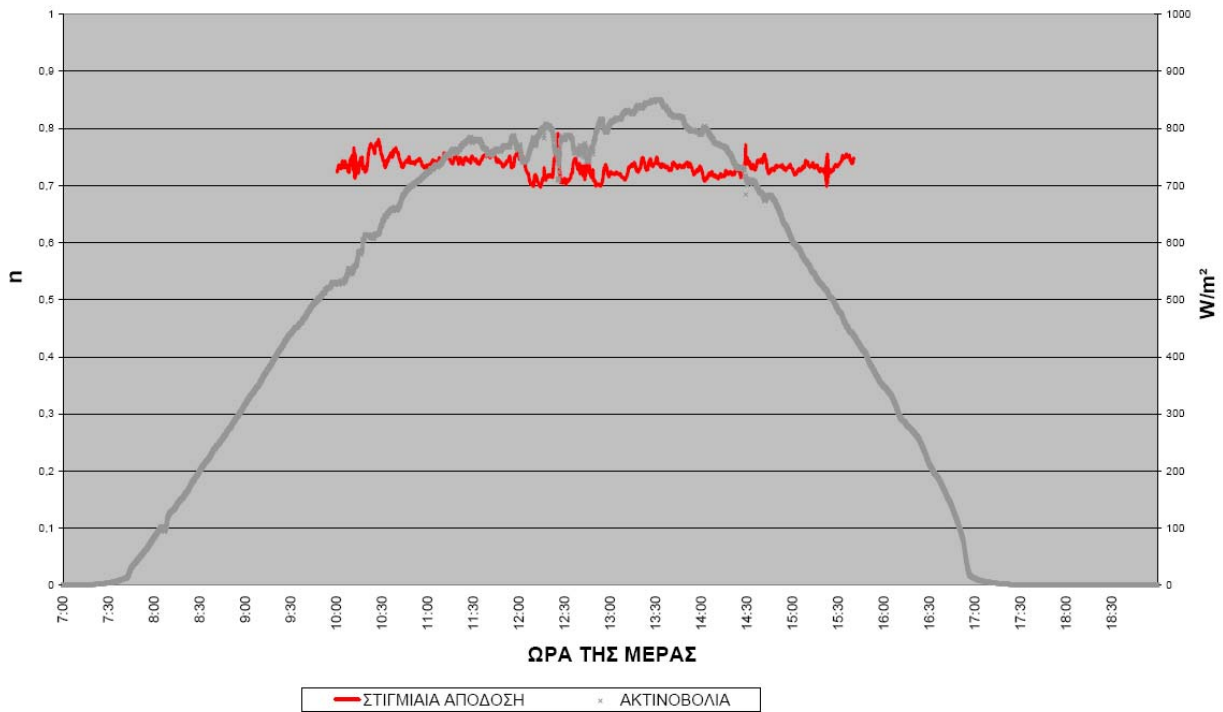
Airsole 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 11/9/2011, 200 m³/h



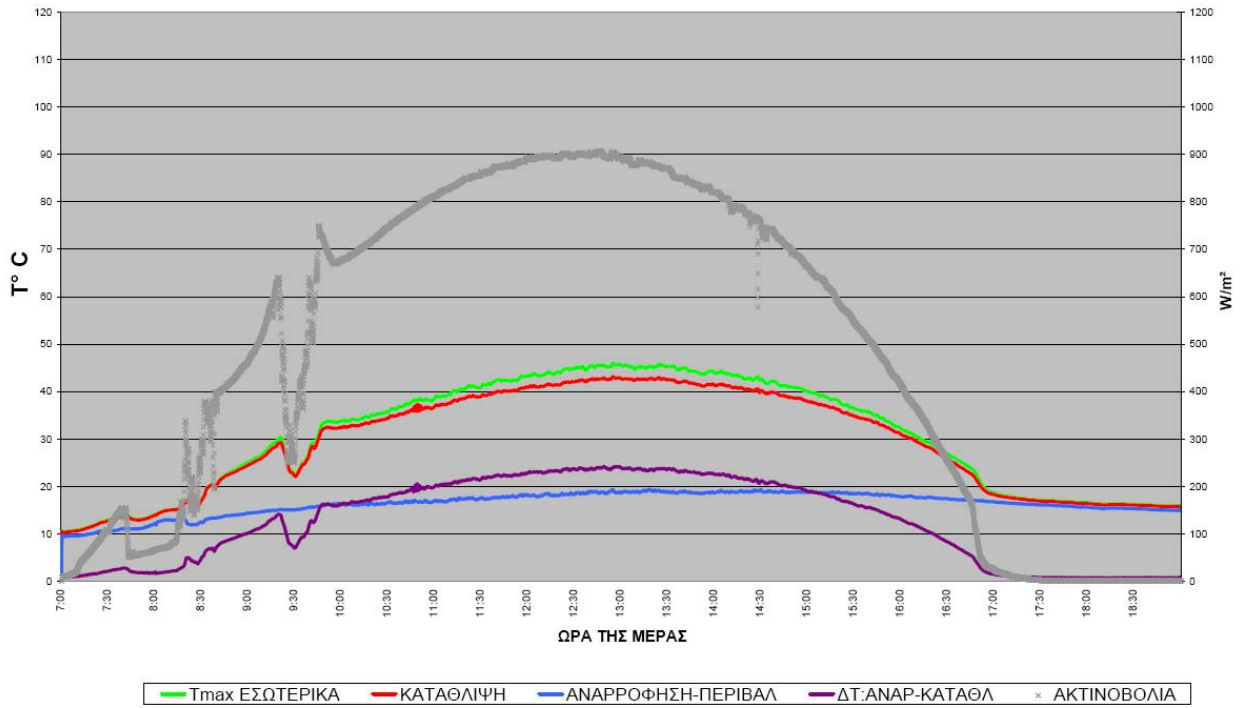
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 14/12/2011, 300 m³/h



Airsole 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 14/12/2011, 300 m³/h



ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 6/11/2011, 400 m³/h



Airsole 3,5m² ΕΠΙΠΕΔΟΣ 6/11/2011, 400 m³/h

