

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ***



Εισηγητής:

Dr. ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ

Σπουδαστές:

ΝΑΝΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΦΟΥΡΦΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	4
ΟΡΙΣΜΟΙ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
1.1 Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας.....	13
1.2 Γενικές κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	17
2.1 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.....	17
2.1.1 Σχεδίαση επίπεδου συλλέκτη.....	17
2.1.2 Τμήματα επίπεδου συλλέκτη.....	19
2.2 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αέρα.....	21
2.3 Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνα κενού.....	21
2.4 Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες.....	22
2.5 Παραβολικός συλλέκτης (πίατο)	22
2.6 Παραβολικά σκαφίδια.....	23
2.7 Κεντρικοί δεκτές.....	24
2.8 Ηλιακοί νερόλακκοι.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	28
4.1 Προσδιορισμός εξίσωσης συλλέκτη.....	28
4.2 Θερμικές απώλειες συλλέκτη.....	31
4.3 Μείωση θερμικών απωλείων.....	33
4.4 Μεταφορά και απολαβή θερμικής ενέργειας.....	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	38
5.1 Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη.....	38
5.2 Καθορισμός απόδοσης συλλέκτη.....	38
5.3 Καμπύλες απόδοσης, χαρακτηριστικά λειτουργίας και βαθμός απόδοσης.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	41
ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑ ASHRAE 93-77	
6.1 Μέτρηση της απόδοσης.....	41
6.2 Σταθερά χρόνου.....	51
6.3 Μέτρηση της σταθεράς χρόνου του συλλέκτη.....	52
6.4 Υπολογισμός της σταθεράς χρόνου.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ - ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	54
ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΜΕ ΥΓΡΟ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	
ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ	
7.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής.....	54
7.2 Συνθήκες δοκιμών.....	54
7.3 Πειραματική διάταξη και μέθοδος μετρήσεων.....	55
7.4 Έλεγχος θερμικής απόδοσης ηλιακών συλλεκτών.....	61
7.4.1 Γενικά.....	61
7.4.2 Πειραματικός προσδιορισμός του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης. Καμπύλη,.....	61
βαθμου απόδοσης – απώλειών.	
7.4.3 Μέθοδος δοκιμών προσδιορισμού της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης.....	62
7.4.4 Διαδικασία ελέγχου ηλιακών συλλεκτών.....	63
7.4.5 Πίνακες μετρήσεων.....	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

<u>Σύμβολο</u>	<u>Ερμηνεία</u>	<u>Μονάδες</u>
A	Επιφάνεια παραθύρου του συλλέκτη	m ²
C _p	Ειδική θερμότητα υγρού κυκλοφορίας	Kj/KgK
F'	Συντελεστής ικανότητας συλλέκτη	-
F _R	Συντελεστής θερμικής απολαβής συλλέκτη	-
G	Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συλλέκτη	W/m ²
G _m	Μέση ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συλλέκτη σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών	W/m ²
K _{pm}	Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας	W/m ² K
\dot{m}_f	Παροχή υγρού κυκλοφορίας στον συλλέκτη	Kg/sec
n	Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης	-
Q _u	Ισχύς θερμικών απωλειών	W
\dot{q}_o	Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον απορροφητήρα ανά μονάδα επιφάνειας	W/m ²
\dot{q}_u	Ωφέλιμη συλλεγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας	W/m ²
\dot{q}_v	Θερμικές απώλειες του απορροφητήρα προς το περιβάλλον	W/m ²
T _a	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	°C
T _e	Θερμοκρασία του υγρού κυκλοφορίας στην έξοδο του συλλέκτη	°C
T _i	Θερμοκρασία του υγρού κυκλοφορίας στην είσοδο του συλλέκτη	°C
T _p	Μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα	°C
ΔT	Διαφορά θερμοκρασιών εξόδου-εισόδου υγρού κυκλοφορίας συλλέκτη	K
T _m	Μέση θερμοκρασία υγρού κυκλοφορίας στο συλλέκτη	°C
T*	Ανοιγμένη αδιάστατη μεταβλητή	-
U	Συντελεστής κανονικοποίησης	10W/m ² K
U _L	Συντελεστής θερμικών απωλειών του απορροφητήρα	W/m ² K
U ₀	U ₀ =F'U _L ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών	W/m ² K
V _w	Ταχύτητα ανέμου	m/s

τ	Ολικός συντελεστής διαπερατότητας του διαφανούς καλύμματος.	-
α	Συντελεστής απορροφητικότητας του απορροφητήρα	-
$(\tau\alpha)_e$	Ενεργό γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας	-
n_0	Στιγμιαία απόδοση για $T_m = T_a$	-
U_1	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	W/m^2
U_2	Συντελεστής μεταφοράς ακτινοβολίας	W/m^2K
C_A	Ενεργός θερμοχωρητικότητα του συλλέκτη	$(J/^\circ C)$
$T_{e,t}$	Θερμοκρασία του υγρού μεταφοράς θερμότητας στην έξοδο του συλλέκτη σε συνάρτηση με το χρόνο	$(^\circ C)$
$T_{e,init}$	Θερμοκρασία του υγρού μεταφοράς θερμότητας στην έξοδο του συλλέκτη στην αρχή της μεταβατικής περιόδου	$(^\circ C)$

ΟΡΙΣΜΟΙ

Απορροφητήρας

Είναι το μέρος του συλλέκτη που δέχεται την προσπίπτουσα ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια.

Γωνία προσπτώσεως

Είναι η γωνία που σχηματίζουν οι άμεσες ηλιακές ακτίνες και η κάθετος προς το επίπεδο του πλαισίου του παραθύρου του συλλέκτη.

Εμβαδό παραθύρου συλλέκτη

Είναι το μέγιστο προβαλλόμενο έμβαδο της επιφάνειας του συλλέκτη, μέσα από την οποία περνά η ηλιακή ακτινοβολία.

Ολικό εμβαδό συλλέκτη

Είναι το μέγιστο προβαλλόμενο έμβαδο της επιφάνειας του συλλέκτη μαζί με τα μόνιμα στηρίγματα του.

Επίπεδος συλλέκτης

Είναι , ο ηλιακός συλλέκτης , που έχει επιφάνεια απορροφήσεως πρακτικά επίπεδη και δεν διαθέτει διατάξεις συγκεντρώσεως της ηλιακής ενέργειας.

Κάλυμμα συλλέκτη

Είναι το διαφανές ύλικο που καλύπτει τον απορροφητήρα για να τον προστατεύει από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και να ελαττώνει τις θερμικές απώλειες.

Στιγμιαία ολική ακτινοβολία

Είναι η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου και μετράται σε W/m^2h ($Kcal/m^2 h$).

Μέση ολική ακτινοβολία

Είναι η συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας, κατά τη διάρκεια ορισμένου χρονικού διαστήματος, διαιρεμένη δια του διαστήματος αυτού.

Στιγμιαίος βαθμός αποδόσεως

Είναι το πηλίκο της ενέργειας που απομακρύνεται απο το συλλέκτη με το υγρό μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα ολικού εμβαδού του συλλέκτη κατά τη διάρκεια ορισμένου χρονικού διαστήματος, δια της εκθέσεως του συλλέκτη στην ολική ηλιακή ακτινοβολία στο ίδιο χρονικά διάστημα, ενώ οι συνθήκες παραμένουν σταθερές ή σχεδόν σταθερές.

Πυρανόμετρο

Είναι όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας. Η παραπάνω ακτινοβολία περιλαμβάνει την άμεση ακτινοβολία, τη διαχυτή ακτινοβολία του ουρανού καθώς και την ακτινοβολία που αντανακλάται απο το επίγειο περιβάλλον του συλλέκτη.

Σχεδόν σταθερές συνθήκες

Θεωρούνται συνθήκες δοκιμής συλλέκτη, όταν η παροχή του υγρού μεταφοράς θερμότητας και η θερμοκρασία εισόδου είναι σταθερές, αλλά η θερμοκρασία εξόδου του υγρού μεταβάλλεται προοδευτικά λόγω κανονικών μεταβολών στην ακτινοβολία, που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της δοκιμής, κατά την οποία ο ουρανός παραμένει καθαρός.

Ηλιακός συλλέκτης

Είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, την μετατροπή της σε θερμότητα και την μεταβίβαση της θερμότητας αυτής σε υγρό που περνά μέσα από αυτή.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Είναι η θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το συλλέκτη που δοκιμάζεται.

Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία

Είναι η ενέργεια της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας άμεσης και διάχυτης που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας σε ορισμένο χρόνο και εκφράζεται σε J/m^2 ($Kcal/m^2$).

Υγρό μεταφοράς θερμότητας

Είναι το μέσο (νερό ή άλλο υγρό) που περνά από τον ηλιακό συλλέκτη και μεταφέρει τη θερμική ενέργεια, που απορροφά, από το συλλέκτη.

Σταθερά χρόνου

Είναι ο χρόνος που χρειάζεται η θερμοκρασία εισόδου του υγρού για να φτάσει το 63,2% της τελικής μεταβολής της μετά από απότομη αλλαγή στη θερμοκρασία εισόδου του υγρού ή στην προσπίπτουσα ακτινοβολία. Εξυπακούεται ότι πριν από την απότομη αλλαγή επικρατούσαν σταθερές συνθήκες. Ο υπολογισμός της σταθεράς χρόνου θα γίνει στο κεφάλαιο 6.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιομηχανοποιημένες κοινωνίες λειτουργούν τα περισσότερα μηχανήματα με ενέργεια που προέρχεται από φυσικούς καύσιμους υδρογονάνθρακες (γαιάνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Ωστόσο, υπάρχει κάποιο όριο στα αποθέματα αυτά και η χρήση τους έχει προξενήσει περιβαλλοντική και κοινωνική ζημιά. Η καύση του πετρελαίου και του γαιάνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα, μολύνει τον ατμοσφαιρικό αέρα πολλών πόλεων, παράγει όξινη βροχή και αποτελεί την κύρια αιτία της παγκόσμιας θέρμανσης. Πολλοί άνθρωποι καταλαβαίνουν τα προβλήματα αυτά, την ανάγκη να ζουν σε αρμονία με τη φύση και τις επιπτώσεις της τεχνολογικής ανάπτυξης στις μελλοντικές γενιές. Επιβεβαίωση αποτελεί το γεγονός της εμφάνισης πολλών οργανισμών (εθνικών και διεθνών), οι οποίοι προάγουν τις καθαρές πηγές ενέργειας, της αποδοτικής χρήσης και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών, ως πρακτική λύση στην οικονομία ενέργειας και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Για την καλύτερη κατανόηση των διαφόρων μορφών, οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: ανανεώσιμες, μη-ανανεώσιμες και ανεξάντλητες. Η ανανεώσιμη πηγή, αντανακλά την έννοια του χρόνου. Μια πηγή είναι ανανεώσιμη, όταν μπορεί να ανανεώνεται με έναν τέτοιο ρυθμό, ώστε να μπορεί να είναι εμπορικά χρησιμοποιήσιμη. Αν και δεν υπάρχει κάποιο όριο στη συνολική ενέργεια την οποία μπορεί να αποκτήσει ο άνθρωπος από μία ανανεώσιμη πηγή, υπάρχει όμως όριο στο ρυθμό εξαγωγής της. Επομένως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ουσιαστικά μπορούν να εξαντληθούν εφόσον δεν διαχειριστούν σωστά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβάνουν: την ισχύ των ζώων, την ισχύ του ανθρώπου και τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στα φυτά, στα ζώα και στα οργανικά κατάλοιπα. Οι ενεργειακές πηγές των φυτών και των οργανικών καταλοίπων, συνήθως αναφέρονται ως βιοκαύσιμα ή βιομάζα.

Τα ενεργειακά αποθέματα είναι μη-ανανεώσιμα, όταν ο ρυθμός σχηματισμού τους είναι τόσο αργός, ώστε η ανανέωση τους μέσα στη διάρκεια μιας ανθρώπινης ζωής να μην έχει κανένα νόημα. Οι μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαντλούνται εντελώς όταν αυτές χρησιμοποιηθούν. Οι γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, σχηματίστηκαν επί χιλιάδες χρόνια. Αν και τα αποθέματα αυτά συνεχίζουν να σχηματίζονται μέχρι και σήμερα, για εντελώς πρακτικούς όμως λόγους δεν θεωρούνται ανανεώσιμα. Παρομοίως, τα στοιχεία ουράνιο και θόριο, είναι και αυτά μη-ανανεώσιμα. Οι μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβάνουν το γαιάνθρακα, τη γεωθερμική ενέργεια (θερμότητα που περιέχεται σε ατμό και νερό παγιδευμένα στο πάνω τμήμα του φλοιού της γης), το φυσικό αέριο, τον πετρελαϊκό σχιστόλιθο, το πετρέλαιο, την ασφαλτούχο

άμμο, το θόριο και το ουράνιο. Οι μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να υποδιαιρευθούν περαιτέρω σε αποθέματα υδρογονανθράκων και σε πυρηνική ενέργεια.

Οι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, είναι αυτές οι οποίες δεν μπορούν να εξαντληθούν με τη συλλογή ή την εξαγωγή τους. Η διαθεσιμότητα των ενεργειακών αυτών πηγών, δεν εξαντλείται σημαντικά κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης. Επομένως, οι ενεργειακές αυτές πηγές είναι απεριόριστες και προσφέρουν το μεγαλύτερο δυναμικό για τη μελλοντική οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Οι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, την υδάτινη και αιολική ισχύ, την παλιρροιακή ενέργεια, τη γεωθερμική ενέργεια που περιέχεται στο μανδύα και στο βαθύ φλοιό της γης, και τη θαλάσσια θερμική ενέργεια (η θερμική ενέργεια του ωκεανού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία στροβιλο-γεννητριών).

Πολλές δημοσκοπήσεις στις ΗΠΑ έχουν δείξει ότι οι άνθρωποι είναι πρόθυμοι να υποστηρίξουν νέες τεχνολογίες, οι οποίες θα δίνουν έμφαση στην αποδοτική χρήση της ενέργειας. Μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού, πιστεύει ότι οι μελλοντικές ενεργειακές απαιτήσεις, μπορούν να ικανοποιηθούν χωρίς την κατασκευή νέων εργοστασίων. Επίσης, είναι επιθυμητή η μεγαλύτερη χρηματοδότηση και η προτεραιότητα σε ενεργειακά αποδοτικότερες τεχνολογίες. Ωστόσο, παρά το ενδιαφέρον της κοινής γνώμης προς την κατεύθυνση αυτή, η χρήση των ανανεώσιμων και ανεξάντλητων πηγών ενέργειας δεν έχει ληφθεί σημαντικά υπόψη στην ενεργειακή πολιτική των κρατών.

Η ηλιακή ενέργεια (ανεξάντλητη μορφή ενέργειας), μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέρμανση κτιρίων ή στην απευθείας παραγωγή ηλεκτρισμού. Κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, έχει διεξαχθεί μεγάλη έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής.

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας άρχισε με το πετρελαϊκό εμπάργκο του 1973, καθώς και με την εφαρμογή διαφόρων κυβερνητικών πολιτικών. Πολλές βιομηχανίες, δημόσιες και ιδιωτικές, κατάλαβαν ότι θα έπρεπε να μελετήσουν και άλλες ενεργειακές πηγές εκτός από το πετρέλαιο. Ωστόσο, καθώς εξισορρόπησαν οι τιμές των καυσίμων και άρθηκαν τα φορολογικά κίνητρα κατά τη δεκαετία του 1980, το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια μειώθηκε. Παρ' όλα αυτά, πολλές εταιρείες συνέχισαν την ερευνά τους. Η ηλιακή ενέργεια διατηρεί την υπόσχεση της για εμπορικοποίηση, αποκαθιστά το περιβάλλον και παρέχει μελλοντική μακροβιότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το πεδίο εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας είναι πολύ ευρύ. Η θέρμανση νερού χρήσης είναι η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή με επιτυχία τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική πλευρά, όσον αφορά τον ιδιώτη καταναλωτή αλλά και το κράτος. Η θέρμανση χώρων είναι μία εφαρμογή που φαίνεται ότι θα έχει ανάπτυξη λόγω των συνεχών ανατιμήσεων του πετρελαίου και κάποιας κρατικής ενθάρρυνσης που πιστεύεται ότι θα δοθεί υπό μορφή δανείων ή φορολογικών ελαφρύνσεων.

Στον πίνακα 1 φαίνεται η δυνατότητα χρήσης των διαφόρων ηλιακών , συλλεκτών στις σπουδαιότερες σήμερα εφαρμογές. Το συμπέρασμα που προκύπτει εύκολα από τον πίνακα είναι ότι ο επίπεδος συλλέκτης υγρού φορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά για θέρμανση νερού, θέρμανση χώρων και θέρμανση για βιομηχανική χρήση.

Η θέρμανση για βιομηχανικούς σκοπούς φαίνεται ότι θα έχει επίσης ανάπτυξη. Πράγματι σε πολλές από τις βιομηχανικές διαδικασίες όπου απαιτείται ενέργεια χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης (μέχρι 100 °C) μπορεί να γίνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Από το άλλο μέρος ο επίπεδος συλλέκτης υγρού είναι μία συσκευή, που παράγεται στη χώρα μας μαζικά, η τεχνολογία του είναι πλέον γνωστή όσον αφορά την κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση του.

Άλλες εφαρμογές με μικρότερη εφαρμογή είναι η ψύξη χώρων , η ξήρανση αγροτικών προϊόντων η παραγωγή πόσιμου νερού και η απόσταξη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ ΜΕΓΑΛΑ ΚΤΙΡΙΑ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ	ΨΥΞΗ ΧΩΡΩΝ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	ΞΗΡΑΝΣΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ
Επίπεδος υγρού	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται υπο όρους	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
Επίπεδος αέρα	Συνιστάται	Δεν Συνιστάται	Δεν Συνιστάται	Δεν Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται	Δεν Συνιστάται
Επίπεδος σωλήνων κενού	Συνιστάται	Δεν Συνιστάται	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Συνιστάται	Συνιστάται	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό
Συγκεντρωτικός μέσου βαθμού συγκέντρωσης	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Συνιστάται	Συνιστάται	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό
Συγκεντρωτικός υψηλού βαθμού συγκέντρωσης	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Συνιστάται	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό	Αδύνατο ή εντελώς Αντιοικονομικό

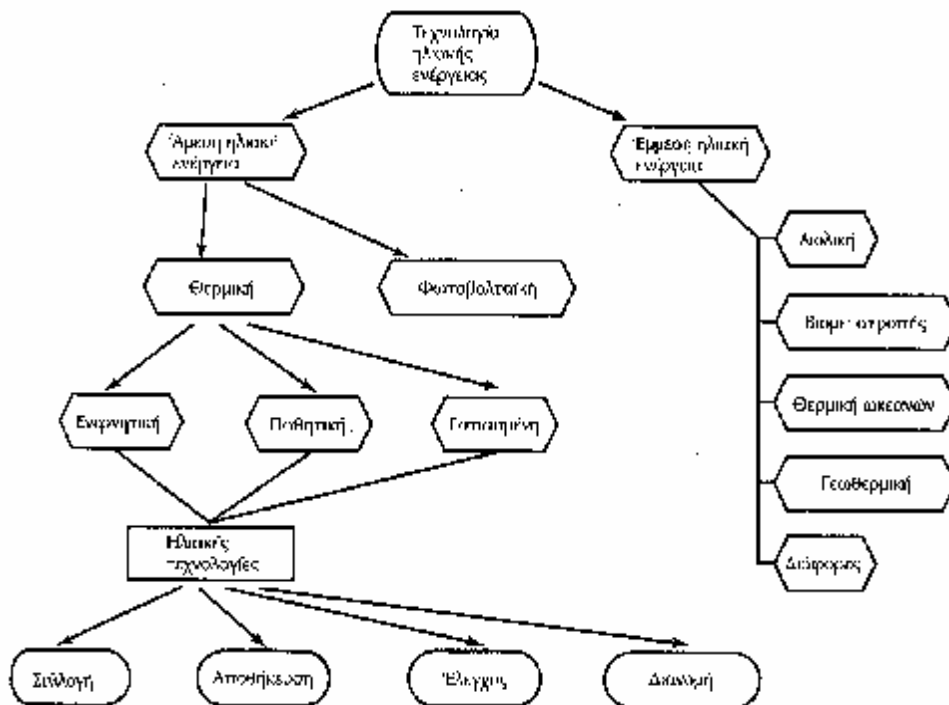
1.1 Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας

Η τεχνολογία χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας, μπορεί να διακριθεί σε άμεση και έμμεση (σχήμα 1.1). Οι δύο αυτοί όροι, χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό μεταξύ των διαφόρων τύπων ανανεώσιμων και ανεξάντλητων πηγών ενέργειας. Άμεση (απ' ευθείας) ηλιακή ενέργεια, σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη, μετατρέπεται αμέσως με τη βοήθεια της τεχνολογίας σε κάποια χρήσιμη μορφή ενέργειας. Έμμεση ηλιακή ενέργεια, σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη, μετατρέπεται με την πάροδο του χρόνου μέσα από φυσικές διαδικασίες, σε μορφές που δεν είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμες. Επομένως, θα πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε κάποια χρήσιμη μορφή.

Τα συστήματα άμεσης ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε θερμικά και σε φωτοβολταϊκά. Τα θερμικά συστήματα, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απ' ευθείας σε θερμική ενέργεια, για χρήση στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε διάφορες εφαρμογές.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα, μπορούν να υποδιαιρεθούν σε ενεργητικά, παθητικά και συστήματα συγκέντρωσης. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι αυτά που χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες και εξωτερικές ενεργειακές πηγές για τη μεταφορά της συλλεγόμενης θερμότητας. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δεν χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες, κ.τ.λ., αλλά φυσικά ρεύματα μεταφοράς της θερμότητας. Τα συστήματα συγκέντρωσης, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία.

Όλα τα θερμικά συστήματα ηλιακής ενέργειας, είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες τέσσερις τεχνολογίες:



Σχήμα 1.1. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, η άμεση και έμμεση. Εδώ, απεικονίζονται οι τεχνολογίες της κάθε κατηγορίας.

1. Συλλογής - Όλα τα θερμικά ηλιακά συστήματα, πρέπει να διαθέτουν κάποιο τρόπο συλλογής της ενέργειας. Για παράδειγμα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν συλλέκτες. Τα παθητικά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν για το σκοπό αυτό, θερμοκήπια (δάπεδα, τοίχοι, κ.τ.λ).

2. Αποθήκευσης - Τα θερμικά ηλιακά συστήματα συνήθως διαθέτουν κάποιο τρόπο αποθήκευσης. Τα ενεργητικά συστήματα χρησιμοποιούν για το σκοπό αυτό πέτρες ή νερό, ενώ τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν τούβλα, τσιμέντο, κ.τ.λ.

3. Ελέγχου - Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας, συνήθως χρησιμοποιούν κάποιο τρόπο κατεύθυνσης της θερμότητας. Ανοίγοντας ή κλείνοντας κάποιες γρίλιες, ελέγχεται η ροή της θερμότητας μέσα στο κτίριο. Στα ενεργητικά συστήματα, ο έλεγχος μπορεί να εκτελείται από κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, αισθητήρες, θερμοστάτες και σωληνοειδή. Στα παθητικά συστήματα, ο ιδιοκτήτης ελέγχει το σύστημα χειροκίνητα.

4. Διανομής - Όλα τα συστήματα ηλιακής ενέργειας απαιτούν κάποιο τύπο συστήματος διανομής. Με το σύστημα διανομής, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το σημείο συλλογής ή αποθήκευσης στα διάφορα σημεία του κτιρίου. Στα ενεργητικά συστήματα, αυτό εκτελείται συνήθως με αγωγούς (σωληνώσεις). Στα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούνται φυσικά ρεύματα μεταφοράς.

1.2 Γενικές κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας

§ Απ' ευθείας μετατροπή σε θερμότητα.

- θέρμανση νερού (επίπεδοι συλλέκτες) (φώτο 1).



Φώτο 1. Επίπεδοι συλλέκτες για θέρμανση νερού με δεξαμενή αποθήκευσης

- θέρμανση χώρων, (ενεργητική με συλλέκτες, παθητική με συλλογή από το ίδιο το κτίριο ή θερμοκήπιο) (φώτο 2).



Φώτο 2. Θέρμανση χώρων με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες

- Ξήρανση διαφόρων προϊόντων (συλλέκτες, ειδικά ξηρανήρια).

- Μαγείρεμα (ειδικοί συλλέκτες υψηλής θερμοκρασίας, συγκεντρωτικά συστήματα).

- § Βιομηχανική χρήση (παραγωγή ατμού με ειδικούς συλλέκτες).
- § Μετατροπή με ενδιάμεσο θερμοδυναμικό μετασχηματισμό.
- Αφαλάτωση του νερού (ειδικές συσκευές στις οποίες η θερμότητα δίνεται για την εξάτμιση του νερού).
- Ψύξη (κύκλοι απορροφήσεως με NH_3 - ή LiBr . Απαιτούνται συλλέκτες μέσης θερμοκρασίας δηλαδή $>100^\circ\text{C}$).
- § - Μηχανική ενέργεια ή ηλεκτρισμός από θερμότητα (SOLAR FARM, SOLAR TOWERS, SOLAR PONDS, OTEC SCOTTKY BARRIES).
- § Απ' ευθείας μετατροπή σε ηλεκτρισμό.
- Φωτοβολταϊκή μετατροπή (φώτο 3) (κύτταρα πυριτίου ,HETEROJUNCTION,SCOTTKY BARRIES).



Φώτο 3.Φωτοβολταϊκά

- Άλλες μέθοδοι (φωτογαλβανική, θερμοιονική).
- § Μετατροπή σε χημική ενέργεια.
- Βιομάζα (φωτοσύνθεση).
- Παραγωγή H_2 (φωτοηλεκτρόλυση).
- Υγρά και αέρια καύσιμα (από τη βιομάζα με ζύμωση, πυρόλυση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

2.1 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

2.1.1 Σχεδίαση επίπεδου συλλέκτη

Σήμερα, έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί πολλοί τύποι ενεργητικών επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Οι περισσότεροι από αυτούς, τοποθετούνται σε κατοικίες. Γενικά, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι τέτοιων συλλεκτών, ο τύπος θερμού αέρα και ο τύπος με νερό. Η κύρια μεταξύ τους διαφορά, είναι το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμότητας. Ο τύπος θερμού αέρα χρησιμοποιεί ρεύματα αέρα, για τη θέρμανση σπιτιών και μερικές φορές τη θέρμανση νερού.

Οι συλλέκτες νερού (φώτο 4) , συνήθως χρησιμοποιούν νερό, με ή χωρίς αντιψυκτικό. Το υγρό μεταφέρεται από μικρές σωληνώσεις στην επιφάνεια του απορροφητή του συλλέκτη. Το αντιψυκτικό αποτρέπει το πάγωμα του νερού σε ψυχρά κλίματα και ταυτόχρονα ενεργεί ως λιπαντικό για την αντλία. Επίσης, υπάρχουν και συστήματα εκροής για την εκκένωση του υγρού σε συνθήκες παγώματος , εφόσον δεν χρησιμοποιείται αντιψυκτικό.

Οι συλλέκτες νερού , μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη θέρμανση νερού. Το θερμαινόμενο νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας το ίδιο είτε για θέρμανση χώρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας και ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη, ουσιαστικά παραμένουν τα ίδια είτε πρόκειται για σύστημα θερμού αέρα είτε για υδρονικό συλλέκτη.

Ο απορροφητής είναι το βασικό και κοινό στοιχείο όλων των ηλιακών συσκευών. Η επιφάνεια του απορροφητή, που δέχεται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, είναι συνήθως μεταλλική μαυρισμένη επιφάνεια (για να είναι απορροφητική), και καλύπτεται από διαφανές κάλυμμα, που είναι τοποθετημένο σε κατάλληλη απόσταση απ'αυτή. Ο περιορισμός των θερμικών απωλειών από ακτινοβολία και μεταφορά επιτύγχανεται στις πιο πολλές περιπτώσεις μόνο με την χρήση του καλύμματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικές επιλεκτικές επιστρώσεις στην επιφάνεια του απορροφητή και στο διαφανές κάλυμμα για να περιορίζουν την εκπομπή προς το περιβάλλον της ακτινοβολίας του απορροφητή. Για το περιορισμό των απωλειών με μεταφορά από τον απορροφητή στο διαφανές κάλυμμα γίνεται χρήση είτε κυψελωτών διατάξεων, είτε κενού στον ενδιάμεσο χώρο. Αν ο απορροφητής έχει μέρος της επιφάνειάς του, πάνω στην οποία δεν προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιεί θερμομονωτικό υλικό για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών του προς το περιβάλλον. Για την μεγιστοποίηση της διαπερατότητας , τα διαφανή καλύμματα πρέπει να παρουσιάζουν την ελάχιστη δυνατή απορρόφηση στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και πολλές φορές χρησιμοποιούνται επιστρώσεις , που μειώνουν την ανακλαστικότητά τους σ'αυτήν.



Φωτο 4. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης νερού

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

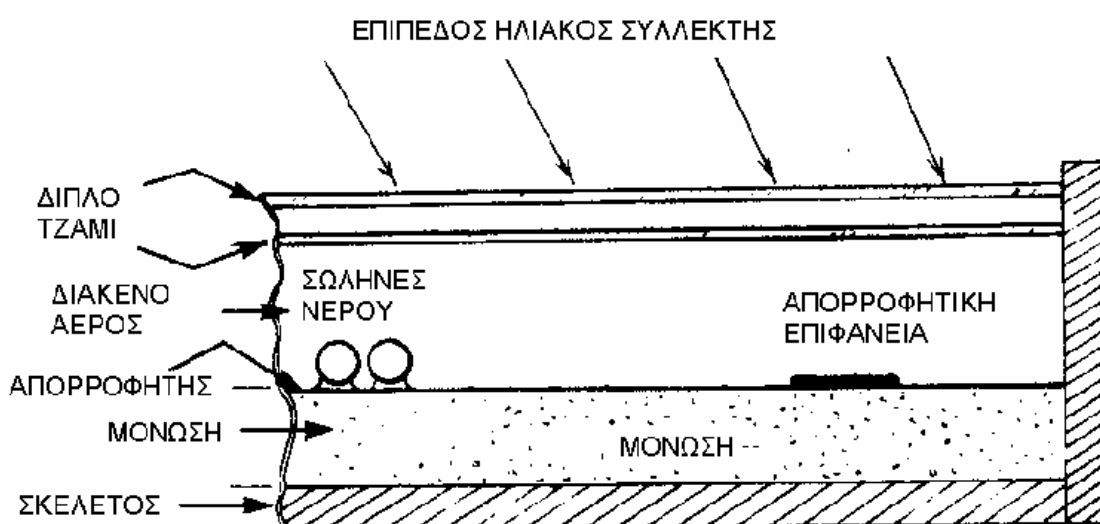
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Χαρακτηριστικά		ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ	
		324	320
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ			
Μήκος L	(mm)	1820	1500
Πλάτος W	(mm)	1213	
Βάθος D	(mm)	81	
Απόσταση Κέντρων Κολλεκτέρ C	(mm)	1137	
Μεικτή επιφάνεια	(m ²)	2,21	1,82
Καθαρή επιφάνεια	(m ²)	2,08	1,70
Επιφάνεια απορροφητή	(m ²)	2,06	1,68
Βάρος (χωρίς υγρό)	(Kg)	41	34
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ			
Βάρος	(Kg)	8,8	7,1
Αριθμός κατακόρυφων σωλήνων		16	13
Διάμετρος Κολλεκτέρ	(mm)	22	
Διαμ. κατακόρυφων σωλήνων	(mm)	9,5	
Διαμ. Σωλ. Εισαγωγής/Εξαγωγής	(mm)	22	
Πίεση λειτουργίας / δοκιμής	(bar)	10/14	

Παροχή υγρού (Νερό / μείγμα γλυκόλης)	(l/s)	0,027 - 0,042	0,023 - 0,037
Όγκος υγρού	(l)	2,26	1,82
Πτώση πίεσης	(bar)	0,4	

2.1.2 Τμήματα επίπεδου συλλέκτη

Τα τμήματα του επίπεδου συλλέκτη είναι η απορροφητική επιφάνεια, το διαφανές κάλυμμα, ο απορροφητής, ο σκελετός, η μόνωση. Στο σχήμα 2.1, απεικονίζονται ορισμένα από τα βασικά μέρη ενός επίπεδου συλλέκτη. Το πίσω τμήμα του σκελετού είναι μονωμένο, έτσι ώστε να χάνεται η ελάχιστη δυνατή θερμική ενέργεια λόγω αγωγής.



Σχήμα 2.1. Η σχεδίαση των επίπεδων απορροφητών, ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή. Οι απορροφητές χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και παγίδευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Απορροφητής

Ακριβώς πάνω από τη μόνωση, βρίσκεται ο απορροφητής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο απορροφητής έχει σκοπό να συλλέξει όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια, η ακτινοβολία αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταφέρεται έξω από το συλλέκτη. Υπάρχουν πολλές σχεδιάσεις απορροφητών, ανάλογα με τον κατασκευαστή και την εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε ένα υδρονικό σύστημα ο απορροφητής αποτελείται από μία υψηλής θερμικής αγωγιμότητας σωλήνωση, για τη μεταφορά του υγρού. Ο χαλκός είναι ένα από τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σωλήνωση αυτή. Ο χαλκός έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα, επιτρέποντας την ταχεία μεταφορά θερμότητας μέσω της σωλήνωσης στο υγρό. Σε ορισμένους απορροφητές, οι σωληνώσεις είναι χυτευμένες απευθείας πάνω στην πλάκα του απορροφητή. Ένας άλλος δοκιμασμένος τύπος απορροφητή υδρονικών συστημάτων, αποτελείται από λεπτού πάχους διαφανείς πλαστικές σωληνώσεις. Οι σωληνώσεις αυτές μεταφέρουν κάποιο υγρό, το οποίο είναι βαμμένο με σκούρο χρώμα για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η καλή επαφή της απορροφητικής πλάκας με τους σωλήνες παίζει μεγάλο ρόλο στην απόδοση του συλλέκτη. Μεγάλο ρόλο παίζει επίσης και η θερμανταλλακτική επιφάνεια του υγρού (η εσωτερική επιφάνεια των σωληνών). Στις πιο εξελιγμένες κατασκευές απορροφητής και

σωλήνες σχηματίζονται από δύο συγκολλημένες επίπεδες μεταλλικές πλάκες όπου με κατάλληλη τεχνική σχηματίζονται σωληνώσεις κυκλοφορίας του υγρού.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των απορροφητών, είναι η ικανότητα του υλικού να παραμένει σταθερό κάτω από υπερβολική θερμότητα. Οι απορροφητές, θα πρέπει να αντέχουν τις δομικές αλλαγές (π.χ επιμήκυνση), ως αποτέλεσμα της απορροφούμενης θερμότητας. Η θερμοκρασία του συλλέκτη μπορεί να φθάσει μέχρι και 250 °F (120°C). Η θερμοκρασία αυτή, θα μπορούσε να προκαλέσει ορισμένα βλαβερά αποτελέσματα στην κατασκευαστική δομή του ηλιακού συλλέκτη.

Οι σχεδιάσεις των απορροφητών βελτιώνονται συνεχώς, χρησιμοποιώντας πολλά νέα υψηλής απόδοσης υλικά. Κατά την ανάπτυξη των υλικών αυτών, λαμβάνεται υπόψη η διαθέσιμη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, το κόστος κατασκευής και τα χαρακτηριστικά αγωγιμότητας, απορροφητικότητας και ανακλαστικότητας των υλικών.

Χρώμα απορροφητή: Ο τρόπος με τον οποίο η επιφάνεια ενός συλλέκτη απορροφά ηλιακή ενέργεια, αποτελεί παράγοντα του βαθμού απόδοσης. Το χρώμα του απορροφητή είναι σημαντικό, αφού είναι επιθυμητή η υψηλή απορρόφηση και η ταχεία μεταφορά θερμότητας. Έχουν δοκιμαστεί διάφορα χρώματα για τους απορροφητές των επίπεδων συλλεκτών. Όταν η ηλιακή ενέργεια προσπίπτει πάνω σε μία σκοτεινή επιφάνεια, τότε απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Οποιοδήποτε χρώμα υπάρχει στον απορροφητή, ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα, χωρίς να απορροφάται. Επομένως, το συνηθέστερο χρώμα που χρησιμοποιείται είναι το μαύρο, το οποίο σημαίνει απουσία χρώματος. Οι συλλέκτες χρησιμοποιούν μαύρο χρώμα ματ, για την αποφυγή των ανακλάσεων. Άλλα χρώματα τα οποία έχουν δοκιμαστεί, είναι διάφορες αποχρώσεις μπλέ-πρασίνου, αλλά όμως το μαύρο είναι το επικρατέστερο λόγω της υπεροχής του στην απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Σχετικά με τις ειδικές επιστρώσεις, το εφαρμοζόμενο στον απορροφητή υλικό είναι κάποιο μαύρο μεταλλικό οξειδίο. Αν και οι επιστρώσεις αυτές παρέχουν υψηλή θερμική μεταφορά της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, έχουν όμως υψηλό κόστος και απαιτούν πολύπλοκες διαδικασίες εφαρμογής. Για το λόγο αυτό, συνήθως στο εμπόριο χρησιμοποιούνται για τους ηλιακούς συλλέκτες μαύρες μπογιές ματ.

Οπίσθια και πλευρική μόνωση

Θερμομονωτικό υλικό (πολύουρεθάνη, υαλοβάμβακας κ.λ.π) χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από τις πλευρές και την πλάτη του συλλέκτη. Ο απορροφητής προστατεύεται θερμικά από τη μη φωτιζόμενη πλευρά του με τη χρήση θερμομονωτικού υλικού 3-5cm πάχους. Πολλές φορές μεταξύ του μονωτικού και του απορροφητή μεσολαβεί ένα μικρό διάκενο για πρόσθετη θερμομόνωση και το μονωτικό διαθέτει στην εσωτερική του επιφάνεια ανακλαστικό υλικό (π.χ φύλλο αλουμινίου) για να ανακλά την ακτινοβολία που εκπέμπει ο απορροφητής.

Πλαίσιο συναρμολόγησης

Το πλαίσιο συναρμολόγησης χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση των διαφόρων μερών και έτσι την δημιουργία μιας αυτοφερόμενης κατασκευής. Οι συλλέκτες στεγάζονται πάνω σε ένα, σταθερό σκελετό από πλαστικό, ξύλο, μέταλλο ή άλλο κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στα καιρικά φαινόμενα.

Υλικά για διαφανή καλύμματα ηλιακών συλλεκτών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του επίπεδου συλλέκτη, είναι το προστατευτικό διαφανές κάλυμμα, κατασκευασμένο από διάφορα υλικά, π.χ

mylar, tedlar, πολυαιθυλένιο και γυαλί. Σκοπός είναι η προστασία από τη βρώμα και την υγρασία και κυρίως ο περιορισμός των θερμικών απωλειών από μεταφορά και θερμική ακτινοβολία.

Τα υλικά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες :

α) Σκληρά πλαστικά φύλλα με πάχος 1mm ή μεγαλύτερο. Κατηγορία (P).

β) Λεπτά πλαστικά φίλμ με πάχος μικρότερο από 1mm. Κατηγορία (F).

γ) Γυαλιά με ειδική επίστρωση. Κατηγορία (V)

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, βρίσκεται στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων (μικρά μήκη κύματος). Σε αυτήν περιλαμβάνεται η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω σε ένα συλλέκτη, αυτή διέρχεται εύκολα μέσα από το διαφανές κάλυμμα και συλλέγεται από την πλάκα του απορροφητή.

Αν και ένα απλό διαφανές κάλυμμα παρέχει την απαιτούμενη προστασία κατά των απωλειών, πολλές φορές συναντώνται ηλιακοί συλλέκτες με διπλά και τριπλά διαφανοί καλύμματα. Με τα πολλαπλά καλύμματα, η θερμική ενέργεια που έχει συλλεχθεί παραμένει μέσα στο συλλέκτη, αφού μειώνονται οι απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Ένα τυποποιημένο γυαλί πάχους 0,1875 της ίντσας (0,47cm), επιτρέπει τη διέλευση του 85% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας. Το καθαρό από μόλυβδο γυαλί, επιτρέπει τη διέλευση του 95% της ηλιακής ακτινοβολίας προς τον απορροφητή, αλλά φυσικά είναι ακριβότερο και δεν παράγεται στη χώρα μας. Το κοινό γυαλί που όταν το κοιτάζουμε από τη στενή πλευρά του έχει πράσινο χρώμα, είναι γυαλί σιδηρούχο.

2.2 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αέρα

Όταν το ρευστό απολαβής της θερμότητας είναι, ο αέρας, τότε ο σχεδιασμός και η κατασκευή είναι λίγο διαφορετική από τους συλλέκτες υγρού.

Κατ' αρχήν απαιτείται μεγαλύτερη διατομή των αγωγών που κυκλοφορεί ο αέρας εντός του συλλέκτη σε σχέση με τους άλλους συλλέκτες για να μη δημιουργείται μεγάλη πτώση πίεσης και απαιτείται ισχυρός κυκλοφορητής αέρα. Επιπλέον ο αέρας λόγω της μικρής του πυκνότητας, πρέπει να ληφθεί πρόνοια ώστε να έρχεται όσο είναι δυνατόν σε καλύτερη επαφή με την απορροφητική επιφάνεια, χωρίς όμως αυτό να είναι σε βάρος της πίεσης.

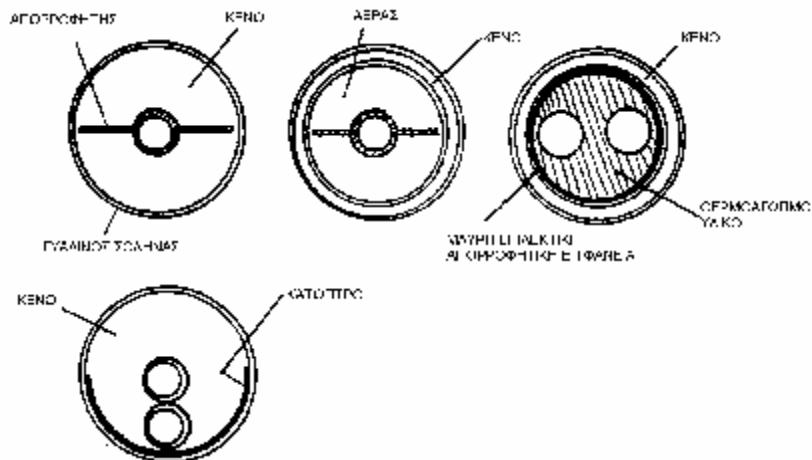
Τα πλεονεκτήματα των επίπεδων συλλεκτών αέρα είναι βασικά η απλούστερη και φτηνότερη κατασκευή, η έλλειψη προβλημάτων διάβρωσης, και η μικρή σημασία μικρών διαρροών. Η απόδοση των συλλεκτών αέρα είναι μικρότερη σχετικά με τους αντίστοιχους τύπους συλλεκτών υγρού. Οι συλλέκτες αέρα έχουν επίσης τη δυνατότητα χρήσης επίλεκτικών επιστρώσεων για καλύτερη απόδοση (όπως και οι άλλοι συλλέκτες).

2.3 Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνα κενού

Η ύπαρξη κενού αέρα μεταξύ απορροφητή και του περιβάλλοντος εμποδίζει ριζικά τη μετάδοση θερμότητας με μεταφορά από τον απορροφητή. Ένας τέτοιος τύπος βελτίωσης είναι οι σωλήνες κενού που αποτελούνται από γυάλινο σωλήνα διαμέτρου 5-10cm μέσα στους οποίους βρίσκεται ο απορροφητής. Η μορφή του απορροφητή είναι συνήθως μια μεταλλική μαύρη επιλεκτική επιφάνεια με ένα ή δύο σωλήνες σε θερμική επαφή.

Το κενό μπορεί να είναι στον ενδιάμεσο χώρο ή να δημιουργείται ανάμεσα δύο ομόκεντρων γυάλινων σωλήνων που περιέχουν πάλι τον απορροφητή.

Άλλη μορφή συλλέκτη σωλήνα κενού είναι η χρήση κατοπτρικής επιφάνειας στο μισό μέρος του σωλήνα και διπλός σωλήνας (απορροφητής) για να λαμβάνει το ανακλούμενο φως. Στο σχήμα 2.2 φαίνονται ενδεικτικά διάφοροι τύποι συλλεκτών σωλήνων κενού.



Σχήμα 2.2. Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνα κενού

2.4 Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

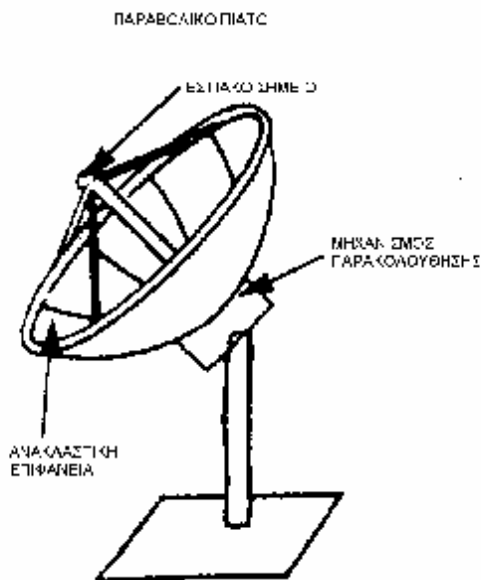
Η χρήση συγκεντρωτικών συλλεκτών, μπορεί να παράγει υψηλότερες θερμοκρασίες από τους επίπεδους συλλέκτες. Επειδή οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες μπορούν να παράγουν ατμό, χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές, από ηλεκτρικές εταιρείες και κατασκευαστικές βιομηχανίες που απαιτούν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200 °F (92 °C). Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, μπορούν να παράγουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 4.000°F (220°C).

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, διακρίνονται σε τέσσερις βασικούς τύπους: παραβολικά πιάτα, παραβολικά σκαφίδια, κεντρικοί δέκτες και ηλιακοί νερόλακκοι. Οι αρχές που εφαρμόζονται στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, είναι παρόμοιες με αυτές των επίπεδων συλλεκτών. Συγκεκριμένα, οι συλλέκτες αυτοί συλλαμβάνουν τα μικρά και μεγάλα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και τα μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική ενέργεια.

2.5 Παραβολικός συλλέκτης (πίατο)

Τα παραβολικά πιάτα ή συλλέκτες υψηλής θερμοκρασίας ή συλλέκτες σημειακής συγκέντρωσης, χρησιμοποιούνται σε μία ποικιλία εφαρμογών. Οι συλλέκτες αυτοί, χρησιμοποιούν μία παραβολική ανακλαστική επιφάνεια για τη συγκέντρωση των παράλληλων ηλιακών ακτίνων σε έναν απορροφητή (γνωστό ως δέκτη ή βραστήρα), ο οποίος βρίσκεται στην εστία του παραβολικού πιάτου. Η συγκέντρωση αυτή, επιτρέπει στο συλλέκτη να μεταδίδει εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες στο υγρό που περιέχει ο απορροφητής.

Κατά τη σχεδίαση ενός παραβολικού πιάτου, η σύγκλιση των ηλιακών ακτίνων, μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες ανακλαστικές επιφάνειες. Το πιάτο μπορεί να διαθέτει καμπυλωμένους καθρέφτες από γυαλί, μέταλλο ή πλαστικό. Στην περίπτωση του μετάλλου και του πλαστικού, συνήθως χρησιμοποιείται επίστρωση αλουμινίου για την αύξηση της ανάκλαστικότητας προς τον απορροφητή. Σημειώσατε, ότι τα παραβολικά πιάτα μπορούν να κατασκευαστούν σε μία ποικιλία διαμορφώσεων, που επηρεάζουν τον τελικά επιτυγχανόμενο βαθμό απόδοσης. Παραδείγματα μεταβλητών που επηρεάζουν την απόδοση, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση του απορροφητή, τον τύπο ανακλαστικής επιφάνειας και το σχήμα του κυκλικού συλλέκτη συγκέντρωσης. Το σχήμα 2.3, απεικονίζει ένα παραβολικό πιάτο, με το εστιακό του σημείο, το μηχανισμό παρακολούθησης και την ανακλαστική του επιφάνεια.



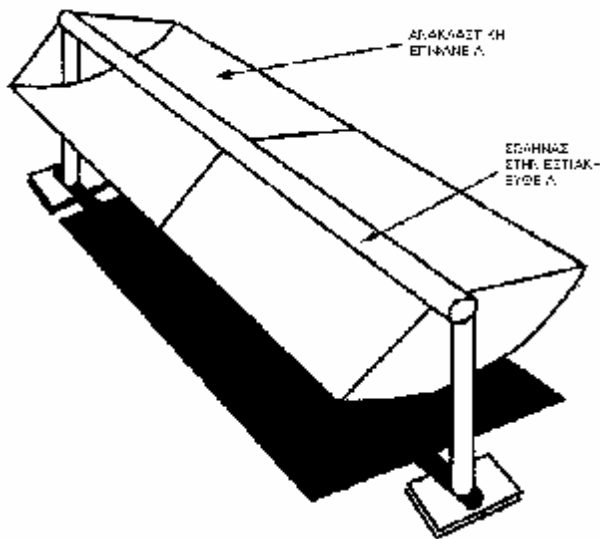
Σχήμα 2.3. Τα τμήματα ενός παραβολικού συλλέκτη

Αν και οι επίπεδοι συλλέκτες μπορούν να επιτύχουν θερμοκρασίες 200 μέχρι 250°F (92,4°C μέχρι 120°C), οι παραβολικοί συλλέκτες φθάνουν τους 4.000°F (2182°C) παρακολουθώντας την κίνηση του ήλιου. Οι υψηλές αυτές θερμοκρασίες, τους επιτρέπουν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση χώρων, μονάδες ψύξης, παραγωγή ατμού και παραγωγή ηλεκτρισμού. Επίσης, υπάρχουν πειραματικές εφαρμογές των παραβολικών πιάτων, στην αποσύνθεση τοξικών αποβλήτων (π.χ διοξίνες και PCBs). Στις πειραματικές αυτές εφαρμογές, έχει επιτευχθεί βαθμός απόδοσης μεγαλύτερος του 30%.

2.6 Παραβολικά σκαφίδια

Τα παραβολικά σκαφίδια είναι παρόμοια με τα παραβολικά πιάτα, αφού και αυτά συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε θερμότητα. Ωστόσο, στη σχεδίαση αυτή ο απορροφητής είναι ένας γυάλινος ή μεταλλικός σωλήνας, ο οποίος εκτείνεται κατά μήκος της συγκεντρωτικής ευθείας του ανακλαστήρα (σχήμα 2.4). Ο σωλήνας αυτός, είναι γεμάτος με νερό ή λάδι και όταν θερμανθεί ξεπερνά τους 740°F (389,4°C).

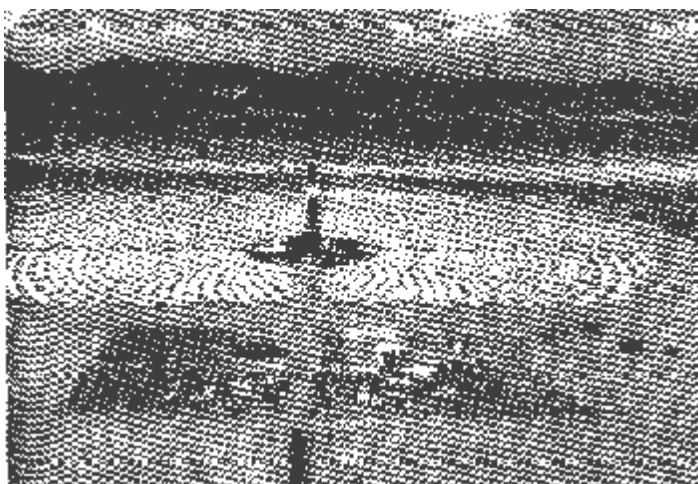
Όπως και τα παραβολικά πιάτα, έτσι και τα παραβολικά σκαφίδια παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου για την επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού βαθμού απόδοσης. Στην πράξη, μπορεί να χρησιμοποιούνται πολλοί τέτοιοι συλλέκτες συνδεδεμένοι μεταξύ τους, έτσι ώστε να συλλαμβάνουν αρκετή ενέργεια. Παράδειγμα, αποτελεί το σύστημα της LUZ INTERNATIONAL, στη Νότια Καλιφόρνια. Συνδέοντας μία σειρά από παραβολικά σκαφίδια, η εταιρεία παράγει 354 Mwatts ηλεκτρικής ισχύος, για την τροφοδοσία 165.000 σπιτιών. Το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρισμού, είναι λιγότερο από 0,08 δολάρια ανά κιλοβατώρα.



Σχήμα 2.4. Τα τμήματα ενός παραβολικού σκαφιδίου

2.7 Κεντρικοί δέκτες

Οι κεντρικοί δέκτες είναι ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν πολλούς μεγάλους καθρέφτες για την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν υψηλό πύργο απορρόφησης. Ο απορροφητής αυτός λέγεται δέκτης, ενώ οι μεγάλοι καθρέφτες με το σύστημα παρακολούθησης, λέγεται ηλιοστάτης. Μέσα στον πύργο απορρόφησης, κυκλοφορεί κάποιο υγρό που θερμαίνεται στους 2600°F ($1412,4^{\circ}\text{C}$), από την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια. Για την αύξηση της απόδοσης, υπάρχουν υπολογιστές που κατευθύνουν τους καθρέφτες ανάλογα με την κίνηση του ήλιου. Όπως και οι άλλοι ηλιακοί συλλέκτες συγκέντρωσης, έτσι και οι κεντρικοί δέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ατμού σε βιομηχανικές εφαρμογές. Στη φωτο 5 απεικονίζεται ένα παράδειγμα εργοστασίου κεντρικού δέκτη.



Φώτο 5. Το εργοστάσιο αυτό, χρησιμοποιεί καθρέφτες για να συγκεντρώσει την ηλιακή ενέργεια σε έναν κεντρικό δέκτη. Ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται για τη λειτουργία μίας στροβιλογεννήτριας (προσφορά της Southern California Edison Co)

2.8 Ηλιακοί νερόλακκοι

Οι ηλιακοί νερόλακκοι αποτελούν ρηχές συγκεντρώσεις νερού, οι οποίες στο κάτω μέρος παγιδεύουν θερμότητα. Στους λάκκους αυτούς, το νερό μπορεί να βρίσκεται σε δύο ή τρία στρώματα, διαφορετικής αλατότητας. Ο μαύρος βυθός του λάκκου είναι γεμάτος με υψηλής συγκέντρωσης αλατόνερο. Πάνω από αυτό υπάρχει ένα στρώμα γλυκού νερού ή πολλά στρώματα νερού μεταβαλλόμενης αλατότητας. Κανονικά, όταν το νερό θερμαίνεται από τον ήλιο ανέρχεται ψηλότερα, αλλά το αλατόνερο σταματά τη δράση αυτή. Αυτό συμβαίνει, λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του αλατόνερου στο βυθό και του γλυκού νερού στο πάνω στρώμα. Αποτέλεσμα είναι, το θερμό νερό να παγιδεύεται στο βυθό του λάκκου.

Η θερμοκρασία του νερού στο βυθό, μετά από μερικές μέρες θέρμανσης από τον ήλιο, ανέρχεται σχεδόν στο σημείο βρασμού του. Ακολούθως, η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού χαμηλής πίεσης, ο οποίος οδηγείται σε μία στροβιλογεννήτρια. Για την αύξηση της απόδοσης του ηλιακού νερόλακκου μπορεί στα υδάτινα αυτά στρώματα να τοποθετούνται πλαστικά καλύμματα, τα οποία μειώνουν την επιφανειακή εξάτμιση του νερού και την επακόλουθη απώλεια θερμότητας.

Ένα παράδειγμα χρήσης ηλιακών νερόλακκων βρίσκεται στο Ισραήλ. Το 1979, η κυβέρνηση υποστήριξε την ανάπτυξη ηλιακού νερόλακκου, ο οποίος παράγαγε περισσότερα από 200 Kwatts ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το σημερινό πρόγραμμα παράγει 5Mwatts ηλεκτρισμού με κόστος 0,1 δολάρια ανά κιλοβατώρα. Άλλες χώρες που σχεδιάζουν την ανάπτυξη ηλιακών νερόλακκων για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή ατμού βιομηχανικών εφαρμογών, είναι η Αυστραλία, η Ιταλία, η Ιαπωνία και το Μεξικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως (ΕΛΟΤ) είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και λειτουργεί υπό την εποπτεία του Υπουργού Βιομηχανίας και Ενέργειας. Ο ΕΛΟΤ ιδρύθηκε με τον Νόμο 372/76, ο οποίος καθορίζει ότι ο σκοπός του ΕΛΟΤ είναι η προαγωγή και η εφαρμογή της τυποποιήσεως στην Ελλάδα. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μεταξύ άλλων και με την εκπόνηση και εφαρμογή των προτύπων. Στον τομέα της ηλιακής ενέργειας ο ΕΛΟΤ έχει αρχίσει την επεξεργασία προτύπων για τον έλεγχο των ηλιακών συσκευών και μελετάει τις διαδικασίες με τις οποίες θα γίνεται ο έλεγχος των συσκευών αυτών. Συγκεκριμένα, ο ΕΛΟΤ, έχει εκπόνησει δύο πρότυπα για τις ηλιακές συσκευές. Τα πρότυπα αυτά είναι τα εξής:

ΕΛΟΤ 388-1: «Εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας - θερμική απόδοση επίπεδων συλλεκτών με υγρό - Προσδιορισμός στιγμιαίου βαθμού αποδόσεως».

ΕΛΟΤ 388-2: «Εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας - θερμική απόδοση επίπεδων συλλεκτών με υγρό - Προσδιορισμός της επιδράσεως της γωνίας προσπτώσεως της ηλιακής ακτινοβολίας στην απόδοση του συλλέκτη».

Στον τομέα αυτό δεν υπάρχει κανένα Διεθνές Πρότυπο. Αλλα προτυπα είναι: ASHRAE 93-77 (ANSI B 198 1-1977) < Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors> της AMERICAN SOCIETY OF HEATING , PERFIGERATING AND AIR – CONDITIONING ENGINEERS , των Ηνωμένων Πολιτειών, IS579/3 <Solar water heaters – Methods of testing of thermal performance of plane collectors> του STANDARDS INSTITUTION του Ισραήλ και το AFNOR P 50-501/77 <CAPTEURS SOLAIRES – MESURE DES PERFORMANCES THERMIQUES > της ASSOSIATION FRANCAISE DE NORMALISATION της Γαλλίας.

Το πρότυπο ASHRAE 93-77 είναι γενικό και αναφέρεται στον προσδιορισμό της θερμικής αποδόσεως επίπεδων συγκεντρωτικών ή μη συγκεντρωτικών συλλεκτών που περιέχουν ή αέριο ή υγρό μέσο μεταφοράς θερμότητας. Οι μετρήσεις σύμφωνα με το πρότυπο αυτό μπορεί να γίνουν ή σε συνθήκες φυσικού ήλιασμου ή σε εργαστηριακές συνθήκες με τεχνίτη ακτινοβολήση. Το πρότυπο IS 579/3, ακολουθεί βασικά το πιο πάνω πρότυπο, αλλά περιορίζεται στον προσδιορισμό της θερμικής αποδόσεως των επίπεδων

μη συγκεντρωτικών συλλεκτήρων με υγρό μέσο μεταφοράς θερμότητας. Οι μετρήσεις προβλέπονται στο Πρότυπο αυτό να γίνονται με φυσική ακτινοβολία μόνο. Το πρότυπο AFNOR P 50 - 501, αναφέρεται στον προσδιορισμό της θερμικής αποδόσεως επίπεδων συγκεντρωτικών ή μη συγκεντρωτικών συλλεκτήρων με υγρό μέσο μεταφοράς θερμότητας. Οι μετρήσεις γίνονται ή σε φυσικές ή σε τεχνίτες συνθήκες. Το πρότυπο αυτό διαφέρει βασικά από το πρότυπο ASHRAE 93-77.

Ύστερα από τη μελέτη των πιο πάνω προτύπων, τα αρχικά κείμενα των προτύπων, ΕΛΟΤ 388-1 και 388-2 συντάχθηκαν με βάση το αμερικανικό πρότυπο, ακολουθώντας όμως τη διαδικασία του προτύπου IS 579/1, δηλαδή περιέχουν μόνο τον προσδιορισμό της θερμικής αποδόσεως για επίπεδους μη συγκεντρωτικούς συλλεκτήρες με υγρό μέσο μεταφοράς θερμότητας σε συνθήκες φυσικής ακτινοβολίας. Αυτά αποφασίσθηκαν επειδή τα αποτελέσματα της μεθόδου, όπως αυτή περιγράφεται στο πρότυπο, μπορούν να χρησιμεύσουν όχι μόνο για τον έλεγχο της θερμικής αποδόσεως των ηλιακών συλλεκτήρων για σκοπούς πιστοποίησης αλλά και για την εξακρίβωση της βελτιώσεως του προϊόντος ενός κατασκευαστή με τη χρησιμοποίηση νέων υλικών και να χρησιμοποιηθούν ακόμα στις μελέτες των ηλιακών εγκαταστάσεων από τους μελετητές. Επίσης επειδή τόσο οι κλιματολογικές συνθήκες όσο και η κατεύθυνση της αναπτύξεως της βιομηχανίας ηλιακών συσκευών, είναι όμοιες στην Ελλάδα και το Ισραήλ. (Ηλιακές συσκευές για θέρμανση νερού).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

4.1 Προσδιορισμός εξίσωσης συλλέκτη

Εάν G είναι , η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη, τότε η ροή της θερμότητας στην απορροφητική επιφάνεια είναι:

$$\dot{q}_o = G(\tau\alpha)_e \quad \text{W/m}^2 \quad (4.1)$$

όπου

τ : ολικός συντελεστής διαπερατότητας του διαφανούς καλύμματος.

α : συντελεστής απορροφητικότητας του απορροφητήρα.

$(\tau\alpha)_e$: ενεργό γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας.

Η ένταση της ακτινοβολίας, πού φθάνει στα ακρότατα όρια της ατμόσφαιρας έχει μικρές διακυμάνσεις, αλλά η μέση τιμή, 1395 W/m^2 , ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Η δραστηριότητα των κηλίδων μπορεί να μεταβάλλει την ισχύ της εκπεμπόμενης ενέργειας κατά $\pm 2\%$ και υπάρχει επίσης μια διακύμανση $\pm 3,5\%$ λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου - γής. Η απορρόφηση της ατμόσφαιρας μειώνει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά ένα ποσό, που εξαρτάται πρώτα από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και υστερά από την κατάσταση της ατμόσφαιρας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια). Όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, που μετράται σε οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να φθάσει την τιμή 1 KW/m^2 , στο επίπεδο της θάλασσας.

Η ακτινοβολία G πού προσπίπτει κάθε στιγμή στον συλλέκτη , περιλαμβάνει, τη διάχυτη και άμεση ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και ακτινοβολία, πού φθάνει στον συλλέκτη, από το έδαφος ή τα γύρω κτίρια ή αντικείμενα εξ' ανακλάσεως. Όταν δοκιμάζεται η απόδοση ενός συλλέκτη η ακτινοβολία G μετράται με πυρανόμετρο πού τοποθετείται στην ίδια κλίση με τον συλλέκτη.

Ο συντελεστής διάβασης, τ , του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη, καθώς και ο συντελεστής απορρόφησης, α , του απορροφητήρα, εξαρτώνται από τα υλικά του συλλέκτη και απ' την γωνία πού η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Η μέση μηνιαία τιμή του (τα) μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τιμή για ακτινοβολία που προσπίπτει κάθετα. Η τιμή του (τα) εξαρτάται από τη θέση (προσανατολισμός και κλίση) του συλλέκτη και την εποχή του έτους.

Από το ενεργειακό ισοζύγιο προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\dot{q}_0 = \dot{q}_u + \dot{q}_v \quad (4.2)$$

όπου

\dot{q}_u : η ροή θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ψυκτικό μέσο (υγρό κυκλοφορίας), W/m^2

\dot{q}_v : θερμικές απώλειες του απορροφητήρα προς το περιβάλλον, W/m^2

Τα \dot{q}_u και \dot{q}_v μπορούν να εκφραστούν ως ακολούθως:

$$\dot{q}_u = K_{p,m}(T_p - T_m) \quad (4.3)$$

$$\dot{q}_v = U_L(T_p - T_a) \quad (4.4)$$

όπου:

$K_{p,m}$ = συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από τον απορροφητήρα στο υγρό, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

U_L = συντελεστής θερμικών απωλειών του απορροφητήρα, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

T_p = μέση θερμοκρασία απορροφητήρα $^\circ C$

T_m = μέση θερμοκρασία υγρού κυκλοφορίας $^\circ C$

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος $^\circ C$.

Το γινόμενο του συντελεστή απωλειών του συλλέκτη U_L και της θερμοκρασιακής διαφοράς $(T_i - T_a)$ παριστά τις απώλειες του συλλέκτη με την υπόθεση, ότι η θερμοκρασία του απορροφητήρα είναι ομοιόμορφη και ίση με τη θερμοκρασία εισαγωγής του ρευστού στον συλλέκτη.

Η θερμοκρασία του απορροφητήρα όμως είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εισόδου όταν συλλέγεται χρήσιμη ενέργεια. Αυτό είναι απαραίτητο για να μεταδίδεται η θερμότητα από τον απορροφητήρα στο ρευστό. Σαν αποτέλεσμα οι πραγματικές απώλειες του συλλέκτη είναι μεγαλύτερες από το γινόμενο $U_L(T_i - T_a)$. Η διαφορά λαμβάνεται υπόψη με τον συντελεστή θερμικής απολαβής F_R .

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_L , εξαρτάται από το είδος της πίσω και πλευρικής μόνωσης του συλλέκτη, την θερμοκρασία του απορροφητήρα, τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων, το υλικό των διαφανών καλυμμάτων τη θερμική εκπομπή του απορροφητήρα, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου. Οι τιμές του συντελεστή U_L προκύπτουν από τις δοκιμές των συλλεκτών.

Ο συντελεστής F_R , είναι συνάρτηση της παροχής του ρευστού μέσα στον συλλέκτη και του τρόπου γενικά κατασκευής του απορροφητήρα (πάχη και ποιότητα υλικών, απόσταση μεταξύ των σωλήνων κ.λ.π).

Η βέλτιστη παροχή του ρευστού στο κύκλωμα των συλλεκτών είναι άπειρα μεγάλη. Όμως η εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος από την παροχή των συλλεκτών είναι ασυμπτωτική. Μόνο ο συντελεστής θερμικής απολαβής F_R αυξάνεται ελαφρά (και μαζί του το θερμικό κέρδος), όταν η θερμοχωρητική παροχή (παροχή x ειδική θερμότητα) αυξάνεται πάνω από την τιμή $50 W/^\circ C$ ανά m^2 συλλεκτών, που αντιστοιχεί σε παροχή αντιπηκτικού διαλύματος περίπου $0,015 \text{ Lt/s-m}^2$, για δε συλλέκτες αέρα $0,01 \text{ m}^3/\text{sec-m}^2$. Μικρή παροχή οδηγεί σε

σημαντική μείωση του θερμικού κέρδους, επειδή μειώνεται η τιμή του συντελεστή θερμικής απολαβής F_R .

Επειδή η θερμοκρασία T_p είναι δύσκολο να προσδιοριστεί πρακτικά αντικαθιστούμε τη διαφορά $(T_p - T_a)$ της εξίσωσης (4.4) με τη σχέση :

$$T_p - T_a = (T_p - T_m) + (T_m - T_a)$$

οπότε η σχέση (4.2) σε συνδυασμό με τις (4.3 , 4.4) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$\dot{q}_u = G(\tau\alpha)_e - U_L(T_m - T_a) - U_L(T_p - T_m) \quad (4.5)$$

$$\dot{q}_u = G(\tau\alpha)_e - U_L(T_m - T_a) - \frac{U_L}{K_{p,m}} K_{p,m}(T_p - T_m) \text{ ή}$$

$$\dot{q}_u = F'G(\tau\alpha)_e - F'U_L(T_m - T_a)$$

όπου: $F' = \frac{K_{p,m}}{K_{p,m} + U_L}$ συντελεστής ικανότητας συλλέκτη
 οπότε ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του επίπεδου συλλέκτη βρίσκεται:

$$n = \frac{\dot{q}_u}{G} = F'(\tau\alpha)_e - F'U_L \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) = \frac{\dot{m}_f C_p \Delta T}{AG} \quad (4.6)$$

όπου $\Delta T = T_e - T_i$

\dot{m}_f :	Παροχή	Kg/sec
T_e :	Θερμοκρασία του υγρού κυκλοφορίας στην έξοδο του συλλέκτη	°C
C_p :	Ειδική θερμότητα υγρού κυκλοφορίας	KJ/Kg °C
T_i :	Θερμοκρασία του υγρού κυκλοφορίας στην είσοδο του συλλέκτη	°C
A :	Επιφάνεια παραθύρου του συλλέκτη	m ²

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του επίπεδου συλλέκτη δίνεται και από τη σχέση:

$$n = \frac{\dot{q}_u}{G} = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G} \right) \quad (4.7)$$

Από τις εξισώσεις (4.6 , 4.7) έχουμε:

$$F_R = F' \left(\frac{1 - e^{-x}}{x} \right) \text{ όπου } X = \frac{U_L F'}{\dot{m}_f C_p} \quad (4.8)$$

Στον πίνακα 3 οι διάφοροι συλλέκτες κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά $F_R(\tau\alpha)_e$ και $F_R U_L$. Το $F_R(\tau\alpha)_e$ παριστά το σημείο τομής της καμπύλης απόδοσης με τον άξονα των τεταγμένων και το $F_R U_L$ την κλίση της καμπύλης. Οι ομάδες διακρίνονται με τους λατινικούς χαρακτήρες I, II, III και IV.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Τύπος	Περιγραφή	$F_R(\tau\alpha)_e$	$F_R U_L (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
I	Μαύρο χρώμα (1 τζάμι)	0,82	7,5
II	Μαύρο χρώμα (2 τζάμια) ή επιλεκτική επιφάνεια (1 τζάμι)	0,75	5,0
III	Σωλήνες κενού	0,45	1,25
IV	Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2,2 m/s)	0,86	21,5

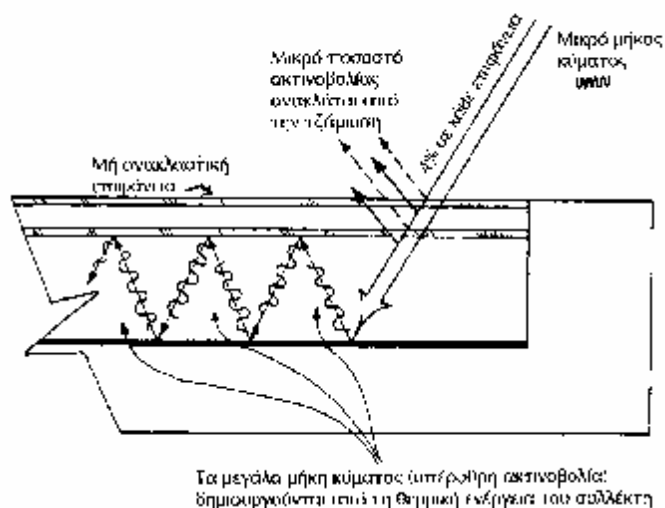
4.2 Θερμικές απώλειες συλλέκτη

Οι επίπεδοι συλλέκτες εφαρμόζονται για συλλογή ηλιακής ενέργειας σε θερμοκρασίες σχετικά χαμηλές για άμεση χρήση της θερμότητας, γενικά , σε μια περιοχή από 50°C έως 100°C.

Έτσι λοιπόν το θερμοκρασιακό επίπεδο απόληξης της θερμότητας υπερβαίνει γενικά το επίπεδο θερμοκρασιών του περιβάλλοντος χώρου του συλλέκτη. Αυτό έχει σαν συνέπεια ότι θα υπάρξει μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περιβάλλοντος χώρου και του φέροντος μέσου με το οποίο απάγεται η ωφέλιμη θερμότητα από τον συλλέκτη.

Έτσι θα εμφανιστεί μια αντίθετη ροή ενέργειας από τον θερμό απορροφητή του συλλέκτη προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Το σχήμα 4.1 , απεικονίζει το θερμό εσωτερικό του απορροφητή και τις θερμικές απώλειες που οφείλονται στην ακτινοβολία και στη μεταφορά. Παρατηρήσατε , ότι το διαφανές κάλυμμα κατευθύνει ορισμένα μήκη κύματος πίσω στην επιφάνεια του απορροφητή.



Σχήμα 4.1 Καθώς η ακτινοβολία προσπίπτει στο συλλέκτη, συλλαμβάνεται από τον απορροφητή και μετατρέπεται σε ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος, η οποία δεν μπορεί να διέλθει εύκολα από το διαφανές κάλυμμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτοντας στο διαφανές κάλυμμα, ανακλάται κατά ένα μέρος, απορροφάται από το υλικό του καλύμματος κατά ένα άλλο μέρος και το υπόλοιπο που διαπερνά προσπίπτει στη μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η σκόνη που μοιραία θα έπικαθίσει στην έξω επιφάνεια του γυαλιού θα απορροφήσει ένα μικρό ποσό ακτινοβολίας. Οι μετρήσεις δείξαν ότι μια συνηθισμένη επικάλυψη σκόνης προκαλεί σχετικά μικρό ποσοστό απώλειας ενεργείας, < 4%, ίσως επειδή αντισταθμίζει την απώλεια διαφάνειας στις ώρες της κάθετης πρόσπτωσης της ακτινοβολίας με κάποια διάχυση που προκαλεί όταν η πρόσπτωση είναι με μεγάλη γωνία και την επακόλουθη μείωση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας.

Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από τον απορροφητή, το οποίο προσπίπτει στο διαφανές κάλυμμα, εν μέρει απορροφάται, εν μέρει επαναανακλάται και το υπόλοιπο διαπερνά το κάλυμμα προς το περιβάλλον. Το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια, αυξάνει την θερμοκρασία της και στη συνέχεια ακολουθεί μετάδοση θερμότητας από τον απορροφητή στο ρευστό, που διαρέει τον απορροφητή και προς το περιβάλλον.

Μετάδοση θερμότητας στο ρευστό γίνεται με αγωγή από την απορροφητική επιφάνεια δια των τοιχωμάτων του αγωγού του ρευστού και στη συνέχεια δια μεταφοράς από τα εσωτερικά τοιχώματα του αγωγού στο ρευστό.

Μετάδοση θερμότητας από τον απορροφητή στο περιβάλλον γίνεται με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία.

Με αγωγή μεταδίδεται θερμότητα από παράπλευρα μέρη και την πίσω πλευρά του απορροφητή δια μέσου του θερμομονωτικού υλικού και του πλαισίου στήριξης και προστασίας στην εξωτερική επιφάνεια του.

Με μεταφορά μεταδίδεται θερμότητα από την επιφάνεια του απορροφητή στο διαφανές κάλυμμα με τον αέρα του ενδιάμεσου αυτού χώρου, ο οποίος θερμαινόμενος από την επιφάνεια του απορροφητή κινείται προς το κάλυμμα και μεταδίδει μέρος της θερμότητας του σ'αυτό (φυσική μεταφορά). Επίσης με μεταφορά μεταδίδεται θερμότητα στο περιβάλλον από την εξωτερική επιφάνεια όλου του συλλέκτη - διαφανές κάλυμμα, πλάγια και πίσω μέρος - (η οποία είναι εξαναγκασμένη αν πνέει άνεμος).

Με ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος) μεταδίδεται θερμότητα από τον απορροφητή στο διαφανές κάλυμμα το οποίο και θερμαίνει. Ένα μικρό μέρος, το οποίο δεν απορροφάται από το κάλυμμα μεταδίδεται προς το περιβάλλον. Το διαφανές κάλυμμα θερμαινόμενο ταυτόχρονα από μεταφορά και ακτινοβολία, εκπέμπει ακτινοβολία προς τον απορροφητή και προς το περιβάλλον.

Το σύνολο της θερμότητας, η οποία μεταδίδεται από τον συλλέκτη στο περιβάλλον αποτελεί τις θερμικές απώλειες του συλλέκτη. Οι απώλειες θερμότητας εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητή και περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο έχει επίσης στις απώλειες θερμότητας η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου στην επιφάνεια του συλλέκτη. Οι απώλειες της εμπρόσθιας πλευράς είναι γενικά δεκαπλάσιες των απωλειών της οπίσθιας πλευράς.

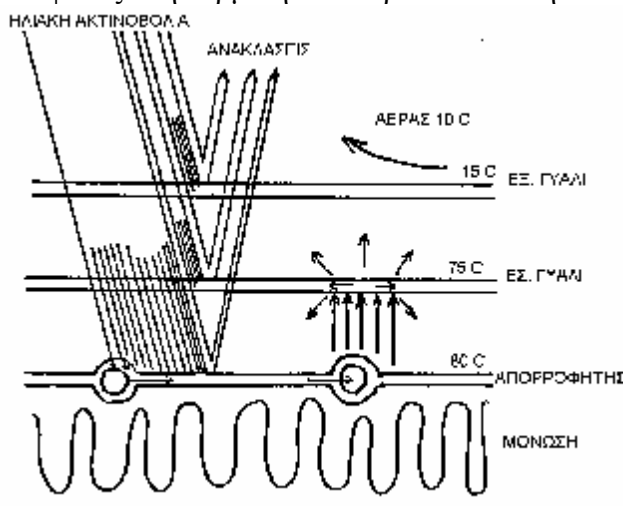
Η ωφέλιμη ενέργεια του συλλέκτη, είναι η ενέργεια την οποία λαμβάνει το ρευστό που κυκλοφορεί διαμέσου του απορροφητή και είναι η ενέργεια που απορροφείται μείον την ενέργεια των θερμικών απωλειών. Ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη αποτελεί την απόδοση του συλλέκτη.

Η απολαβή της θερμότητας του συλλέκτη δια του ρευστού γίνεται με "φυσική" κυκλοφορία (θερμοσιφωνικοί συλλέκτες) , ή με εξαναγκασμένη κυκλοφορία.

4.3 Μείωση θερμικών απωλειών

Για να επιτευχθεί καλύτερη θερμομόνωση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα καλύμματα (Σχήμα 4.2).

Η ροή απώλειας θερμικής ενέργειας μακρού κύματος από τον απορροφητή συναντά το εσωτερικό διαφανές κάλυμμα και αν είναι γυαλί απορροφάται τελείως διότι το γυαλί είναι αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία. Έτσι η ακτινοβολία αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα σε



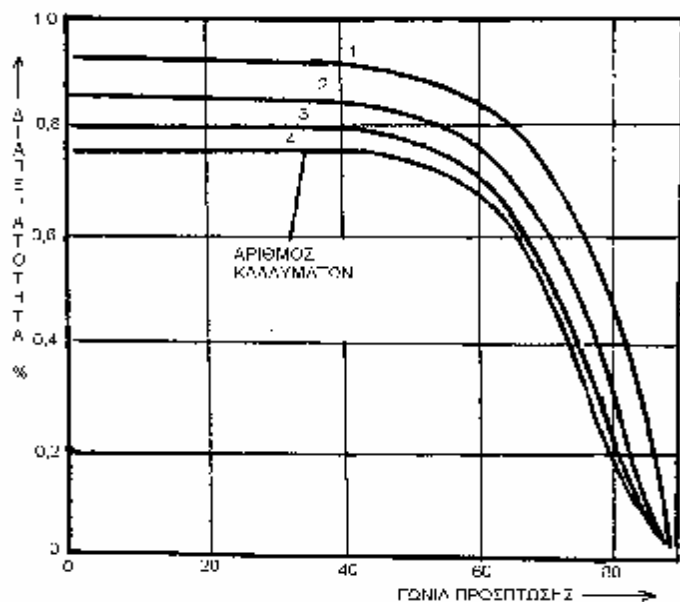
Σχήμα 4.2

κάποια χαμηλότερη τώρα θερμοκρασία και επανεκπέμπεται με ακόμη μακρότερο μήκος κύματος προς δύο κατευθύνσεις, προς τα μέσα όπου επαναπορροφάται από τον απορροφητή του συλλέκτη και προς το εξωτερικό υάλινο κάλυμμα όπου απορροφάται εξ' ολοκλήρου και απάγεται προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Όπως είναι φυσικό η θερμοκρασία του εσωτερικού διαφανούς καλύμματος θα ανυψωθεί σημαντικά και προκύπτει θέμα πλέον αντοχής του στη θερμοκρασία αυτή και στις μηχανικές καταπονήσεις λόγω των διαστολών που θα υποστεί. Έφ' όσον λοιπόν χρησιμοποιηθεί γυαλί πρέπει να είναι γυαλί πολύ καλής ποιότητας ανθεκτικό στις θερμικές καταπονήσεις και επί πλέον να έχει πολύ καλή διαφάνεια στην περιοχή του ηλιακού φάσματος, γιατί αλλιώς θα μειωθεί πολύ η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει έως την επιφάνεια του απορροφητή. Εκτός από το γυαλί, που αυξάνει το βάρος του συλλέκτη και τους κινδύνους θραύσεως του, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλαστικά φιλμς, διαφανή στην ηλιακή ακτινοβολία και αδιαφανή στην θερμική. Τέτοια είναι: το πολυπροπυλένιο, το TEDLAR , το MYLAR και το KAPTON σε πάχη από 0,13 έως 0,05mm (το τελευταίο έχει υψηλή αντοχή έως 400°C αλλά είναι πολύ ακριβό). Τελείως ακατάλληλο είναι το πολυαιθυλένιο που έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας στη θερμική ακτινοβολία (γι' αυτό και στα θερμοκήπια παρατηρούνται περίεργα φαινόμενα τη νύκτα όπου σημειώνονται μερικές φορές θερμοκρασίες χαμηλότερες από το περιβάλλον, αν δεν ανάψει η θέρμανση).

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλαστικά φύλλα πάχους γύρω στο 1mm όπως π.χ PPEXIGLAS, FIBERGLAS, POLYCARBONATE

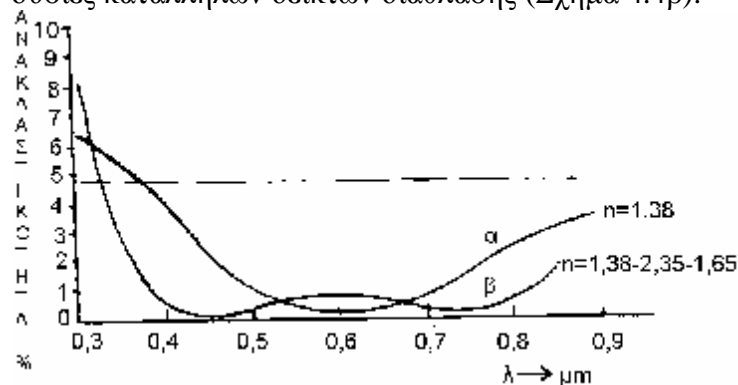
Τα περισσότερα καλύμματα όμως, έχουν σαν συνέπεια μια αισθητή μείωση της διαδιδόμενης από τα καλύμματα στον απορροφητή ακτινοβολίας, ιδιαίτερα αν η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη είναι μεγάλη (σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3

Για να μειωθεί η ανακλαστικότητα, ιδιαίτερα των γυάλινων πλακών και να αυξηθεί το ποσοστό της διαπερατότητας της γίνονται ορισμένες επιστρώσεις χαμηλού δείκτη διάθλασης n και πάχους $\lambda/4$ (όπου λ το μήκος κύματος της επιθυμητής ακτινοβολίας που δεν ανακλάται). Με τον τρόπο αυτό η γυάλινη πλάκα παρουσιάζει μειωμένη ανακλαστικότητα σε μια ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 4.4α).

Για ακόμη ευρύτερη περιοχή μήκους κύματος μπορεί να γίνει πολυστρωματική επίστρωση με ουσίες κατάλληλων δεικτών διάθλασης (Σχήμα 4.4β).



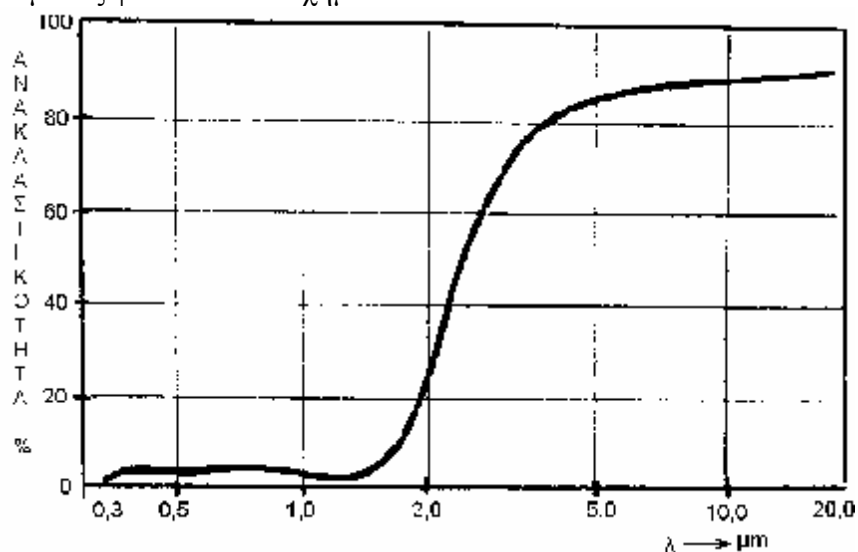
Σχήμα 4.4

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι για την επίστρωση των επιφανειών. Περισσότερο γνωστή είναι η χημική μέθοδος όπου η γυάλινη πλάκα τοποθετείται σε λουτρό υδροφθορικού οξέος, που είναι κεκορεσμένο σε ιόντα Si για να δημιουργηθεί πορώδες επιφανειακό στρώμα μικρότερου δείκτη διαθλάσεως και αναγκαίου πάχους. Η γυάλινη αυτή αντιανακλαστική πλάκα παρουσιάζει σε σύγκριση με την πλάκα χωρίς επίστρωση τις πιο κάτω τιμές διαπερατότητας ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4
ΤΙΜΕΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Τύπος γυαλίνης πλάκας	Γωνία πρόσπτωσης						
	0°	20°	40°	50°	60°	70°	80°
Απλή	0,888	0,894	0,903	0,886	0,854	0,736	0,468
Με επίστρωση	0,941	0,947	0,945	0,958	0,916	0,808	0,562

Ένα άλλο είδος επίστρωσης που εφαρμόζεται στα διαφανή καλύμματα είναι η επίστρωση εκείνη της επιλεκτικής ανακλαστικότητας στα μεγάλα μήκη κύματος. Με την επίστρωση αυτή η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τον απορροφητή ανακλάται και επαναπροσπίπτει στον απορροφητή. Η πλέον συνήθης μέθοδος ανακλαστικής επίστρωσης στο υπέρυθρο είναι η επίστρωση με SnO₂, η δε καμπύλη ανακλαστικότητας συναρτήσεως του μήκους κύματος φαίνεται στο σχήμα 4.5.



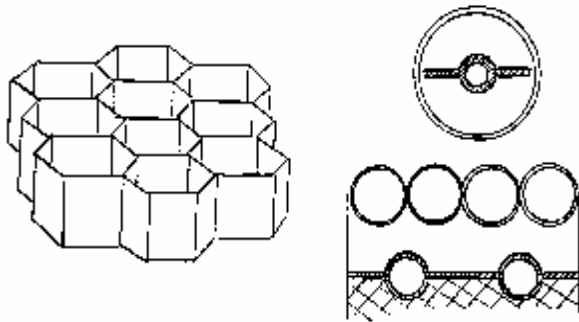
Σχήμα 4.5

Οι θερμικές απώλειες, εξαρτώνται επίσης από το μέγεθος του διακένου αέρα μεταξύ του διαφανούς καλύμματος και του απορροφητή. Ένα διάκενο αέρα από 0,375 έως 0,5 ίντσες (0,95 έως 1,27cm), παρέχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τα μεγαλύτερα διάκενα. Αυτό οφείλεται, στο ότι τα μεγαλύτερα διάκενα επιτρέπουν τη δημιουργία έντονης ροής αέρα με αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες λόγω μεταφοράς.

Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών με μεταφορά από τον απορροφητή προς το διαφανές κάλυμμα χρησιμοποιούνται κύρια δύο τρόποι (Σχήμα 4.6).

Ο ένας τρόπος είναι η χρήση κυψελωτής διαφανής διάταξης μεταξύ του απορροφητή και του καλύμματος. Το κυψελωτό αυτό είναι συνήθως από πλαστικό και εμποδίζει την κυκλοφορία του αέρα με "φυσική" κυκλοφορία και έτσι περιορίζει αρκετά τις θερμικές απώλειες του απορροφητή.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση κενού με δύο βασικές παραλλαγές. Στην πρώτη περίπτωση (συνήθως στους συλλέκτες σωλήνα κενού) ο απορροφητής βρίσκεται μέσα σε γυάλινο σωλήνα ο οποίος είναι κενός αέρα. Στη δεύτερη περίπτωση αντί για απλή πλάκα σαν διαφανές κάλυμμα χρησιμοποιείται διάταξη παράλληλων τοποθετεμένων γυάλινων σωλήνων μικρής σχετικά διαμέτρου οι οποίοι διατηρούν κενό αέρα εσωτερικά.



Σχήμα 4.6

Η ιδανικότερη περίπτωση απορροφητή είναι εκείνη που αφ' ενός μεν ο συντελεστής απορρόφησης (α) είναι πλησίον της μονάδας, ο συντελεστής εκπομπής (ϵ) είναι πλησίον του μηδενός και το ρευστό έρχεται σε πλήρη θερμική επαφή με την απορροφητική επιφάνεια. Παράλληλα θα πρέπει η πλάκα να έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και ο αγωγός (ή οι αγωγοί) κυκλοφορίας του ρευστού να είναι ανθεκτικοί στην πιεσή.

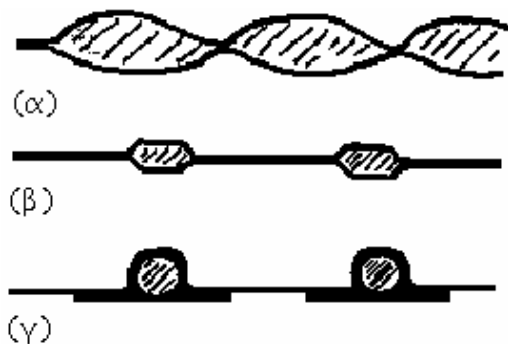
Όσον αφορά τον συντελεστή απορρόφησης (α) της επιφάνειας για τις περισσότερες κοινές μαύρες βαφές κυμαίνεται από 0,8-0,97, εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διαφορετική απορρόφηση για τα διάφορα μήκη κύματος) και εξαρτάται επίσης από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια. Για τον συντελεστή εκπομπής (ϵ) ισχύουν ανάλογα όσον αφορά την τιμή του (0,65-0,96). Το πηλίκον α/ϵ είναι ένα χαρακτηριστικό μέτρο για κάθε βαφή και συνήθως κυμαίνεται γύρω στη μονάδα.

Για να γίνει ο λόγος α/ϵ μεγάλος πρέπει το ϵ να γίνει μικρό. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικές επιλεκτικές επιστρώσεις επί της επιφάνειας του μετάλλου του απορροφητή, οπότε το ϵ μπορεί να κατέβει στην τάξη του 0,09 - 0,2.

Ειδικές επιστρώσεις: Στις επιφάνειες των απορροφητών, έχουν δοκιμαστεί βελούδινες επενδύσεις, ειδικές βαφές και άλλες ειδικές επιφάνειες. Μερικές από τις γνωστές επιφάνειες είναι το μαύρο του νικελίου (Black Nickel) με συντελεστές $\alpha=0,81$, $\epsilon=0,16 - 0,18$, το μαύρο του χαλκού (Black Cu) με συντελεστές $\alpha=0,89$, $\epsilon=0,17$, το μαύρο του χρωμίου (Black Chrome) με συντελεστές $\alpha=0,95$, $\epsilon=0,09$. Επίστρωση Si-Al με συντελεστή $\alpha=0,9$, $\epsilon=0,1$. Τα υλικά αυτά, είναι ειδικά επιλεγμένα, έτσι ώστε να απορροφούν όσο το δυνατό περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης δίνουν στον απορροφητή ικανοποιητικό λόγο α/ϵ , με αποτέλεσμα το μεγάλο πλεονέκτημα να μειώσει δραστικά τις θερμικές απώλειες με ακτινοβολία. Οι απορροφητές, θα πρέπει να είναι υλικά υψηλής απορροφητικότητας και χαμηλής εκπεμπτικότητας. Αυτό σημαίνει, ότι θα πρέπει να απορροφά όσο το δυνατό περισσότερη ενέργεια και να μην την επανεκπέμπει πίσω στο περιβάλλον.

4.4 Μεταφορά και απολαβή θερμικής ενέργειας

Επόμενο βήμα είναι να εξετάσουμε την μεταφορά της θερμότητας που παγιδεύσαμε τελικά στον απορροφητή, προς το φέρον μέσον υγρό κατά κανόνα. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις: (Σχήμα 4.7)



Σχήμα 4.7

(α) Το υγρό να κυκλοφορεί πίσω από όλη σχεδόν την συλλεκτήρια επιφάνεια.

(β) Το υγρό να κυκλοφορεί μέσα σε αγωγούς σχηματισμένους με πίεση πάνω στη συλλεκτήρια επιφάνεια.

(γ) Το υγρό να κυκλοφορεί σε σωλήνες που εφάπτονται πάνω στη συλλεκτήρια επιφάνεια.

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε άριστη απαγωγή και θερμοκρασία φέροντος υγρού πλησιέστερα στην θερμοκρασία της απορροφητικής επιφάνειας. Το μόνο πρόβλημα είναι ότι δύσκολα μπορούν να γίνουν ανεκτές υψηλές πιέσεις του υγρού λόγω των μεγάλων δυνάμεων που αναπτύσσονται μέσα στον απορροφητή.

Στην δεύτερη περίπτωση ανήκουν οι κατασκευές **ROLL BOND** από αλουμίνιο που μπορούν να παραχθούν σε χαμηλό κόστος και μαζική παραγωγή πλην όμως το αλουμίνιο παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα διαβρώσεων.

Στην τρίτη περίπτωση έχουμε το πλεονέκτημα ότι μέσα στους σωλήνες που είναι από επίψευδαργυρωμένο χάλυβα ή από χαλκό μπορούμε να κυκλοφορήσουμε το φέρον υγρό υπό πίεση.

Εδώ όμως απαιτείται μια πολύ καλή συναρμογή μεταξύ του σωλήνα και της επιφάνειας του απορροφητή έτσι ώστε η αντίσταση θερμικής διαβάσεως K μεταξύ απορροφητή και σωλήνα να είναι μικρή και τελικά η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ απορροφητή και υγρού να είναι μικρή. Σε αντίθετη περίπτωση η θερμοκρασία του απορροφητή ανεβαίνει πολύ και ο ολικός βαθμός απόδοσης πέφτει απαράδεκτα.

Επίσης σημασία έχει η πυκνότητα των σωληνών μεταξύ τους και το πάχος και το μέταλλο του απορροφητή.

Μεγάλη απόσταση σωληνών, ή λεπτός απορροφητής με μέταλλο μικρής αγωγιμότητας έχουν σαν συνέπεια αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του απορροφητή και χαμηλή απόδοση του συλλέκτη.

Μεγάλη επίσης σημασία έχει η χωρητικότητα των σωληνώσεων του υγρού που όσο πιο μικρή είναι τόσο καλύτερη και η απόκριση του συλλέκτη. Βέβαια η διάμετρος των σωληνώσεων δεν πρέπει να γίνεται πολύ μικρή γιατί αυτό βάζει μεγάλες απώλειες πιέσεων και έτσι ανώφελη κατανάλωση ενέργειας στον κυκλοφορητή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

5.1 Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη

Λόγω της μεγάλης χρησιμότητας του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη και της συνεχώς αυξανόμενης χρήσης του σε πολλά νοικοκυριά, ξενοδοχεία, βιομηχανίες, τα αποτελέσματα του ελέγχου της θερμικής απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών έγιναν αναγκαία όχι μόνο για σκοπούς πιστοποίησης, αλλά και για την εξακρίβωση της βελτιώσεως του προϊόντος ενός κατασκευαστή με τη χρησιμοποίηση νέων υλικών και να χρησιμοποιηθούν ακόμα στις μελέτες των ηλιακών εγκαταστάσεων από τους μελετητές.

Η τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών, βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου. Συνεχώς εμφανίζονται νέα σχέδια με αυξημένο βαθμό απόδοσης. Ο βαθμός απόδοσης συλλέκτη, εκφράζει το ρυθμό συλλογής της χρήσιμης ενέργειας, σε σχέση με την προσπίπτουσα στην επιφάνεια του συλλέκτη ηλιακή ακτινοβολία.

Ιδανικά, εάν συλλεγόταν ολόκληρη η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, ο βαθμός απόδοσης θα ήταν 100%. Προφανώς, αυτό δεν είναι δυνατόν, αφού μέρος της προσπίπτουσας ενέργειας ανακλάται ή χάνεται με άλλους τρόπους. Εάν ο συλλέκτης συλλάβει τη μισή από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, τότε έχει βαθμό απόδοσης 50%.

5.2 Καθορισμός απόδοσης συλλέκτη

Ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης ενός συλλέκτη, είναι επίπονη διαδικασία λόγω των πολλών μεταβλητών:

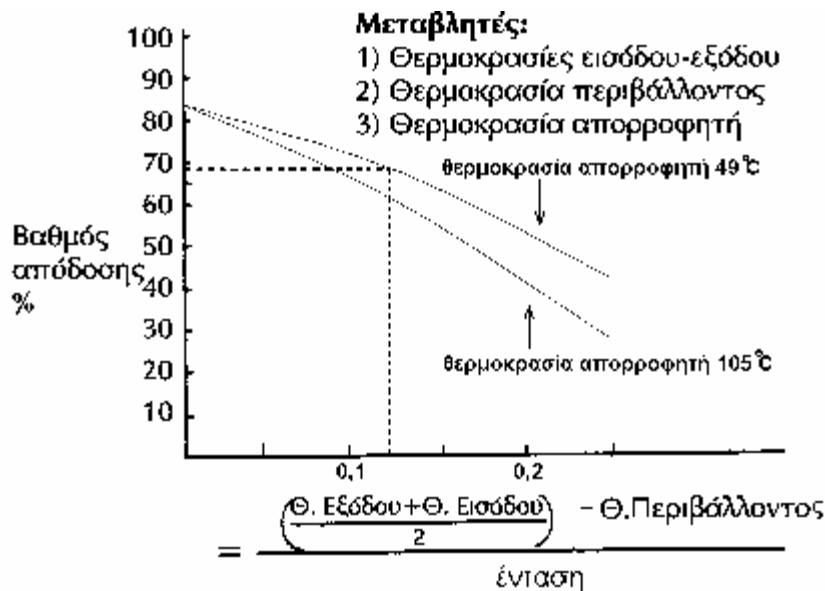
1. Η σχεδίαση και τα υλικά κατασκευής του συλλέκτη, όπως π.χ το διαφανές κάλυμμα, το μέγεθος της μόνωσης, ο τύπος της επιφάνειας απορρόφησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
2. Η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος.
3. Η ταχύτητα του ανέμου.
4. Η διαφορά θερμοκρασίας του ρευστού, μεταξύ εισόδου και εξόδου του συλλέκτη.

Ο καθένας από τους παράγοντες αυτούς, είναι σημαντικός. Όσο περισσότερο λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες αυτοί, στη σχεδίαση, αγορά, κατασκευή ή εγκατάσταση του ηλιακού συστήματος, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη.

5.3 Καμπύλες απόδοσης, χαρακτηριστικά λειτουργίας και βαθμός απόδοσης

Πολλοί τύποι χαρακτηριστικών απόδοσης χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την αναμενόμενη απόδοση ενός ηλιακού συστήματος. Ορισμένες εμπορικές χαρακτηριστικές καμπύλες, απεικονίζουν διαφορές θερμοκρασίας περιβάλλοντος, άλλες διαφορές προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και άλλες τα εσωτερικά υλικά και τις διαφορές τους. Επίσης, μπορεί να απεικονίζουν το βαθμό απόδοσης ως προς τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου. Αν και όλοι οι κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών αναφέρουν το βαθμό απόδοσης των συστημάτων τους με διάφορους τρόπους, οι ονομαστικές τιμές χρησιμεύουν μόνο για τη μεταξύ τους σύγκριση. Ο πραγματικός βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τρόπο και τον τόπο εγκατάστασης του συλλέκτη.

Μία ομάδα χαρακτηριστικών καμπυλών απόδοσης, απεικονίζεται στο σχήμα 5.1. Αυτές οι καμπύλες παρέχονται από τον κατασκευαστή και υπολογίζονται για διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και με συγκεκριμένες τιμές έντασης.



Σχήμα 5.1 Αυτές οι καμπύλες απόδοσης ενός ηλιακού συλλέκτη, δείχνουν ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του απορροφητή, τόσο χαμηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη.

Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει τη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του συλλέκτη, για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι αναγραφόμενοι αριθμοί υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη σχέση που φαίνεται στο σχήμα 5.1. Η σχέση αυτή, συνδέει τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του συλλέκτη, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω στο συλλέκτη (ένταση).

Οι δυο καμπύλες του σχήματος αντιστοιχούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες του απορροφητή του συλλέκτη. Το τμήμα απορροφητή ενός ηλιακού συλλέκτη, βρίσκεται εσωτερικά του διαφανούς καλλύματος και χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στο επόμενο παράδειγμα, φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού του βαθμού απόδοσης.

Υποθέσατε ότι έχουμε τα ακόλουθα δεδομένα:

Θερμοκρασία εισόδου	= 158°F (69,3°C)
Θερμοκρασία εξόδου	= 194°F (89,1 °C)
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	= 50 °F (9,9°C)
Ένταση ακτινοβολίας	= 951 W/m ²

$$\left\{ \frac{\frac{194 + 158}{2} - 50}{951} \right\} = 0,13$$

Από τα στοιχεία αυτά, προκύπτει:

Μετά από την εκτέλεση των αριθμητικών αυτών υπολογισμών, βρίσκουμε τιμή οριζόντιου άξονα ίση με 0,13 . Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή και για θερμοκρασία απορροφητή 120°F (48,4°C), βρίσκουμε ότι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη θα είναι περίπου 69% (διακεκομμένες γραμμές σχήματος 5.1).

Από τις καμπύλες αυτές, προκύπτουν ορισμένα χαρακτηριστικά για τους ηλιακούς συλλέκτες:

1. Καθώς εισέρχεται το ρευστό μέσα στο συλλέκτη (νερό ή αέρας), μέσω κάποιας αντλίας ή ανεμιστήρα, αυτό απορροφά θερμική ενέργεια. Όσο αργότερα κινείται το ρευστό (χαμηλότερη ταχύτητα αντλίας ή ανεμιστήρα), τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια απορροφάται από δεδομένο όγκο ρευστού. Έτσι, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η θερμοκρασία εξόδου. Καθώς όμως αυξάνει η θερμοκρασία εξόδου, διατηρώντας την ίδια θερμοκρασία εισόδου, τότε ο βαθμός απόδοσης μειώνεται. Για καλύτερη κατανόηση, υπολογίζουμε δύο διαφορετικές καταστάσεις χρησιμοποιώντας τις καμπύλες του σχήματος 5.1 (θερμοκρασία απορροφητή 120°F ή 30,8°C):

	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2
Θερμοκρασία εξόδου	220 °F	195 °F
Θερμοκρασία εισόδου	158 °F	158 °F
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	50 °F	50 °F
Ένταση	951 W/m ²	951 W/m ²
Τιμή οριζόντιου άξονα	0,14	0,13
Βαθμός απόδοσης	64%	68%

Από τα στοιχεία αυτά, φαίνεται ότι η ταχύτητα του εισερχόμενου ρευστού είναι σημαντική για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη. Καθώς η θερμοκρασία του εξερχόμενου και αποθηκευμένου ρευστού αυξάνεται, ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μειώνεται.

2. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του απορροφητή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη. Η θερμοκρασία του απορροφητή μεταβάλλεται ανάλογα με την ποσότητα του διερχόμενου από το συλλέκτη ρευστού και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.1, εάν η θερμοκρασία του απορροφητή είναι 221°F, ο βαθμός απόδοσης θα είναι χαμηλότερος από την περίπτωση θερμοκρασίας απορροφητή 120°F. Η κυρία αιτία που συμβαίνει αυτό, είναι ότι καθώς ο συλλέκτης συγκρατεί περισσότερη ενέργεια, τότε η περισσότερη από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα από τον αυξημένης θερμοκρασίας απορροφητή. Στην τελευταία περίπτωση, ο συλλέκτης έχει κορεστεί από συγκεντρωμένη θερμότητα, οπότε δεν μπορεί πλέον να απορροφήσει την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑ ASHRAE 93-77

Στα μέσα της δεκαετίας του 70 πολλά νέα σχέδια συλλεκτών εμφανίστηκαν στην εμπορική αγορά. Μια ανάγκη αναπτύχθηκε για τυποποιημένες δοκιμές. Σε απάντηση σε αυτήν την ανάγκη, το Εθνικό Γραφείο Προτύπων [Hill και Kusuda (1974)] επινόησε μια διαδικασία δοκιμής [δείτε επίσης το Hill και Streed (1976 και 1977)], η οποία έχει τροποποιηθεί από ASHRAE (1977). Η τυποποιημένη διαδικασία ASHRAE 93 -77 είναι η βάση για αυτό το κεφάλαιο. Τα πειράματα υπέρ της ανάπτυξης των τυποποιημένων διαδικασιών περιγράφονται από Hill και λοιποί (1979).

6.1 Μέτρηση της απόδοσης

Η εξίσωση $n = \frac{Q_u}{AG} = F_R (ta) - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{G}$ είναι η βάση των τυποποιημένων μεθόδων δοκιμής που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο.

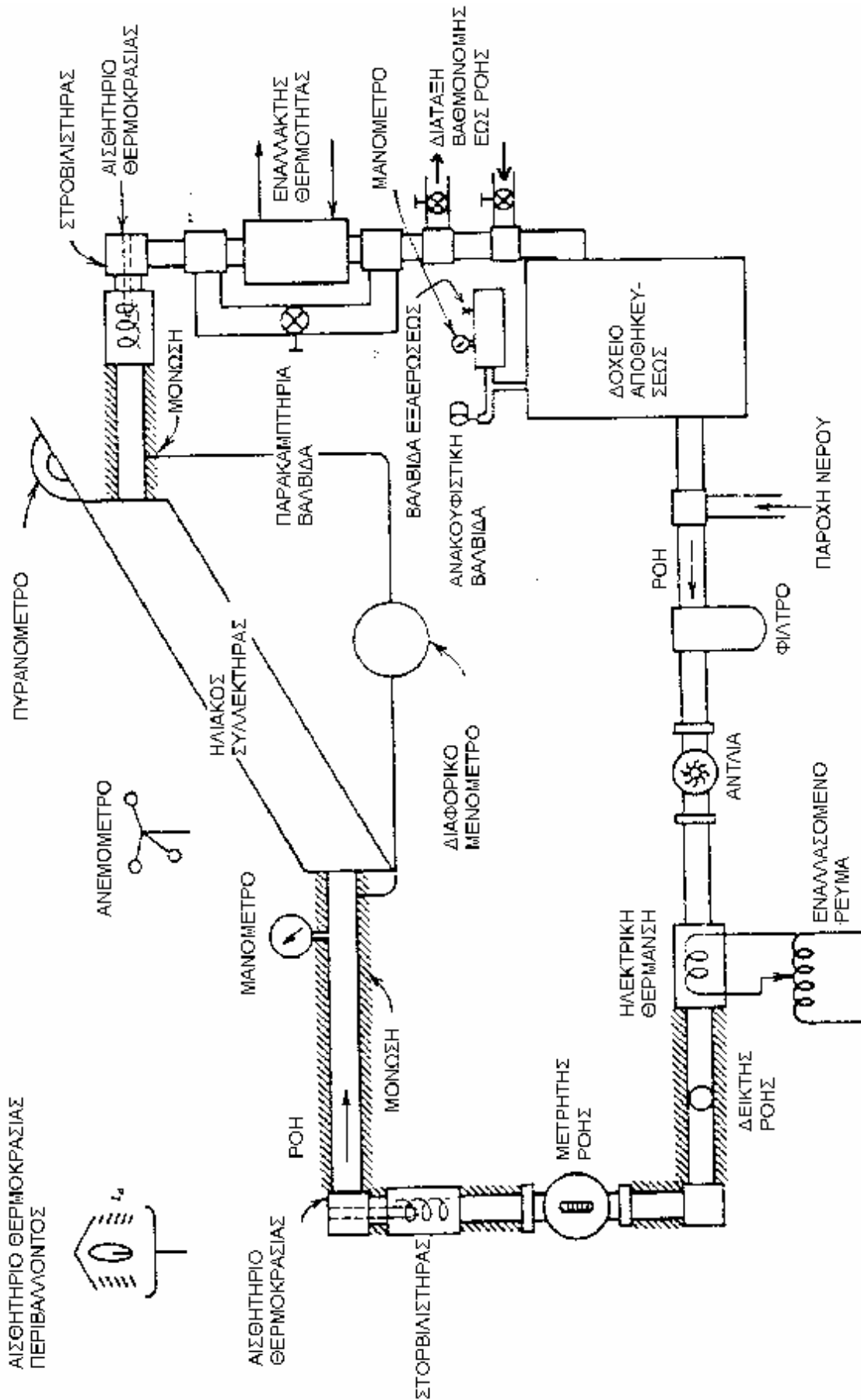
Οι τυποποιημένες διαδικασίες δοκιμής έχουν διευκρινιστεί για τους υγρούς συλλέκτες θέρμανσης και θέρμανσης αέρα, που έχουν χαμηλή ικανότητα θερμότητας. Τρεις μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τους υγρούς συλλέκτες: μια κλειστή μέθοδος βρόχων παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1 και οι μέθοδοι ανοικτών βρόχων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.2 και 6.3. Αν και οι λεπτομέρειες διαφέρουν, τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μεθόδων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Παρέχονται μέσα για να τροφοδοτήσουν το συλλέκτη με υγρό σε μια ελεγχόμενη θερμοκρασία εισόδου T_i . Οι δοκιμές γίνονται για πολλές τιμές του T_i .
 2. Η ηλιακή ακτινοβολία μετριέται από ένα πυρανομετρο στο πάνω μέρος του συλλέκτη.
 3. Παρέχονται μέσα για τη μέτρηση της παροχής, της θερμοκρασίας του ρευστού, στην είσοδο και έξοδο, και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
 4. Μέσα παρέχονται για τις μετρήσεις της πίεσης και της πτώσης πίεσης στο συλλέκτη.
- Τα πρότυπα ASHRAE περιλαμβάνουν μια μέθοδο δοκιμής για τους συλλέκτες αέρα, όπως υποδεικνύεται στο σχήμα 6.4. Τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι τα ίδια όπως για τις υγρές μεθόδους δοκιμής, με την προσθήκη των λεπτομερών προδιαγραφών των όρων σχετικά με τη ροή αέρα, τη μίξη αέρα, τις μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα και τις μετρήσεις πτώσης πίεσης.

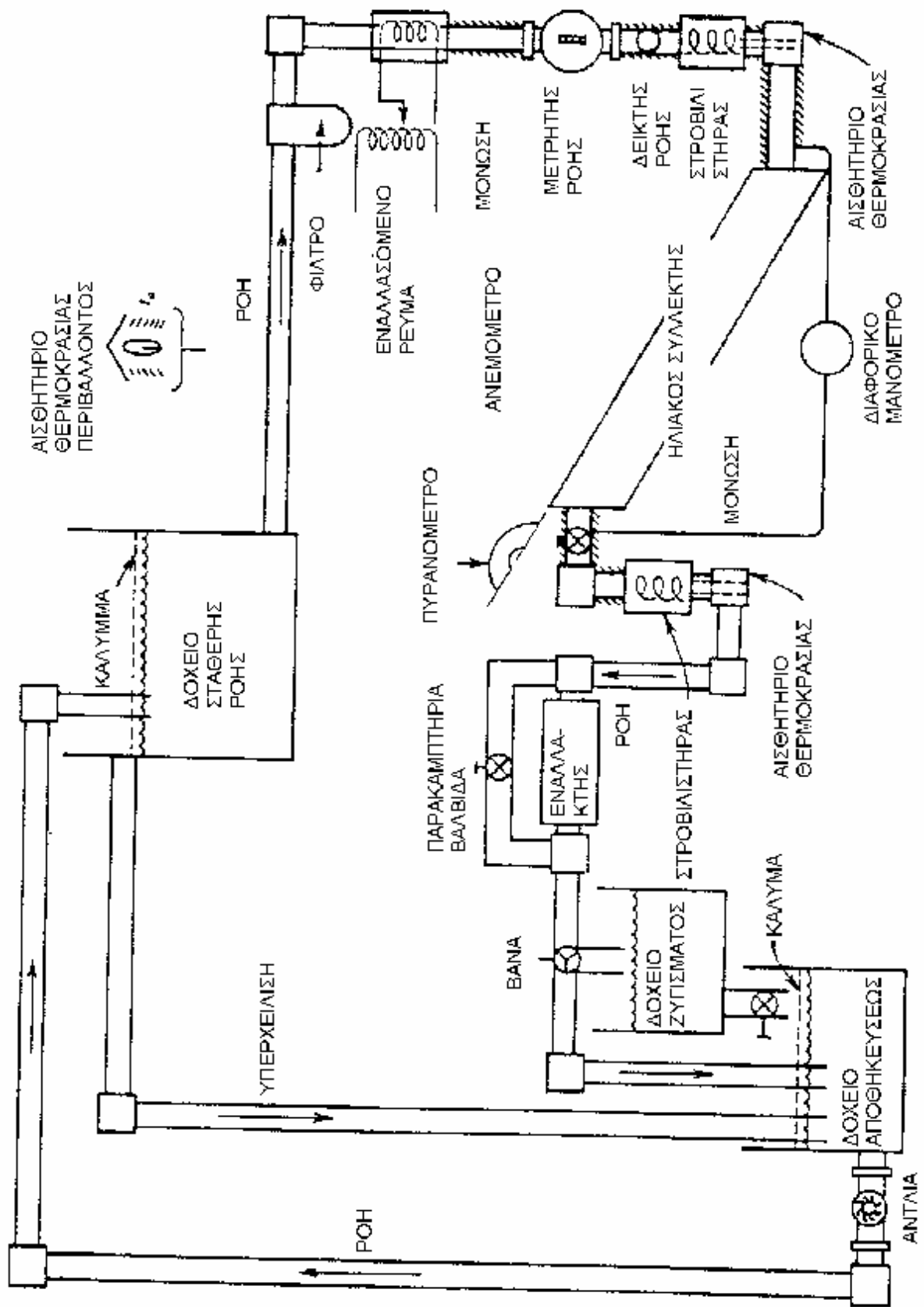
Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν είτε υπαίθρια είτε στο εσωτερικό. Οι εσωτερικές δοκιμές γίνονται χρησιμοποιώντας έναν ηλιακό προσομοιωτή, δηλαδή μια πηγή που παράγει την ακτινοβολία ενέργεια που έχει τη φασματική διανομή, την ένταση, την ομοιομορφία στην ένταση και την κατεύθυνση, που μοιάζει πολύ με αυτού της ηλιακής ακτινοβολίας. Μέσα πρέπει επίσης να παρθούν για να κινηθεί ο αέρας και να παραχθεί άνεμος. Το σχήμα 6.5 παρουσιάζει εσωτερική δυνατότητα δοκιμής που έχει περιγραφεί από Vernon και Simon (1974) και Simon (1976). Δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες εγκαταστάσεις δοκιμής αυτού του τύπου, τα αποτελέσματα δεν είναι πάντα συγκρίσιμα με εκείνους των υπαίθριων δοκιμών και οι περισσότερες δοκιμές συλλεκτών γίνονται υπαίθρια.

Η γενική διαδικασία δοκιμής είναι να χρησιμοποιηθεί ο συλλέκτης στη δοκιμή, κάτω από σχεδόν σταθερούς όρους, να μετρηθούν τα στοιχεία για να καθοριστεί το Q_u και να μετρηθούν τα G , T_i και T_a , που απαιτείται για την ανάλυση βασισμένη στην παραπάνω εξίσωση. Αναγκαστικά, αυτό σημαίνει συνήθως ότι οι υπαίθριες δοκιμές γίνονται στις ώρες μεσημβρίας,

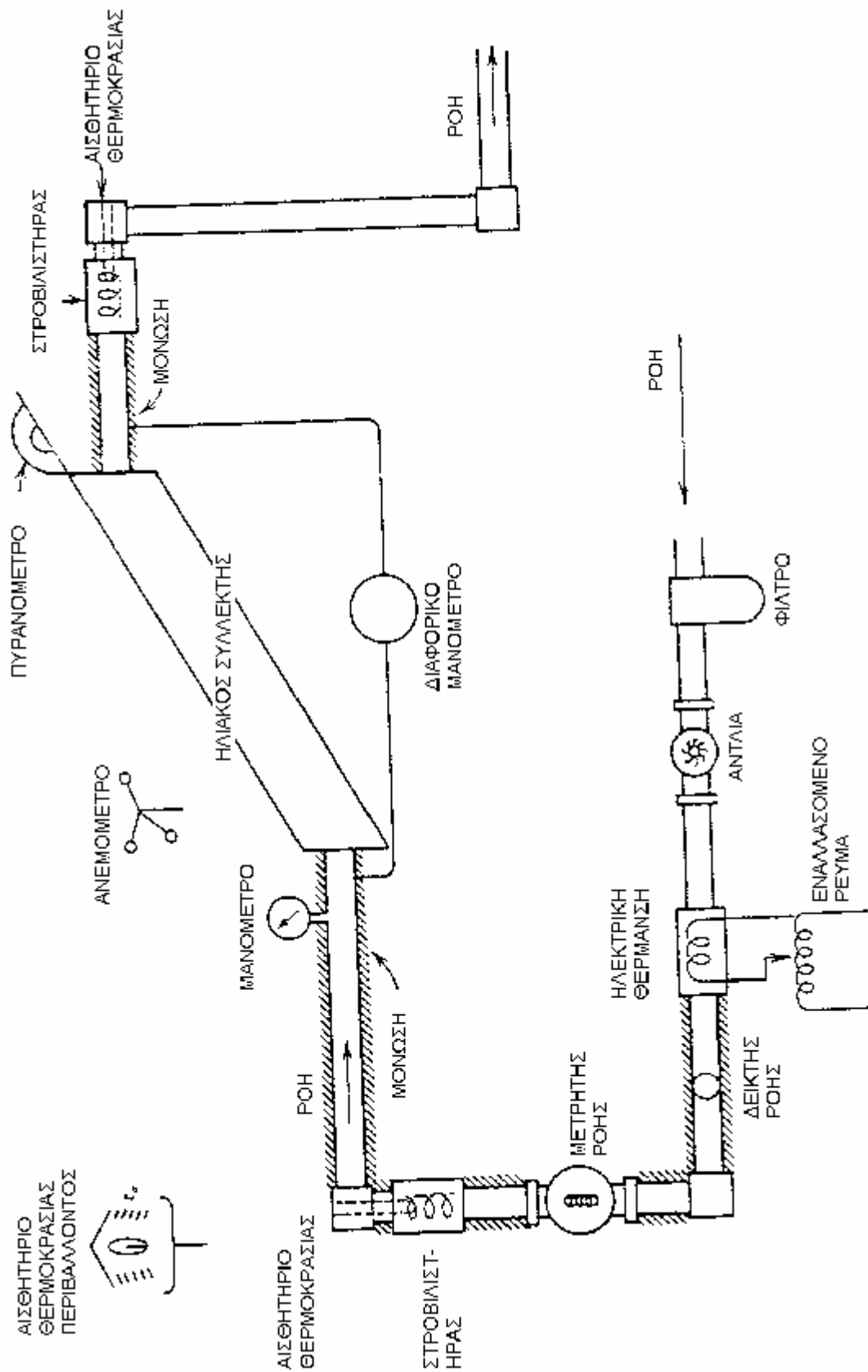
τις καθαρές ημέρες και συνήθως με την ηλιακή ακτινοβολία σχεδόν κάθετη στον συλλέκτη. Κατά συνέπεια το γινόμενο μετάδοση - απορρόφηση για αυτούς τους όρους δοκιμής είναι σχεδόν για κάθετη πρόσπτωση και γράφεται $(\tau\alpha)_e$.



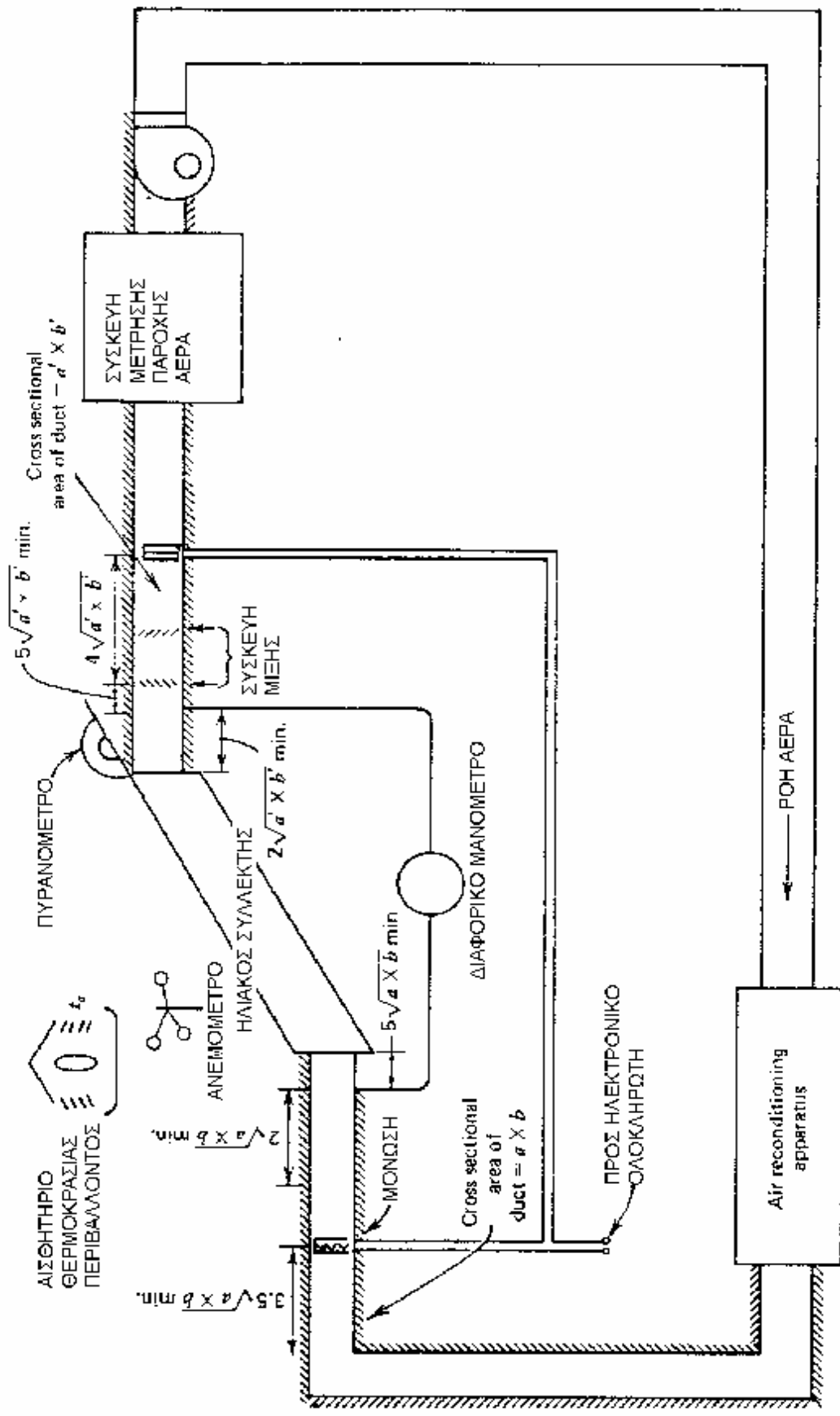
Σχήμα 6.1 Δοκιμή κλειστών βρόγχων για υγρό που θερμαίνεται από ηλιακούς συσσωρευτές.



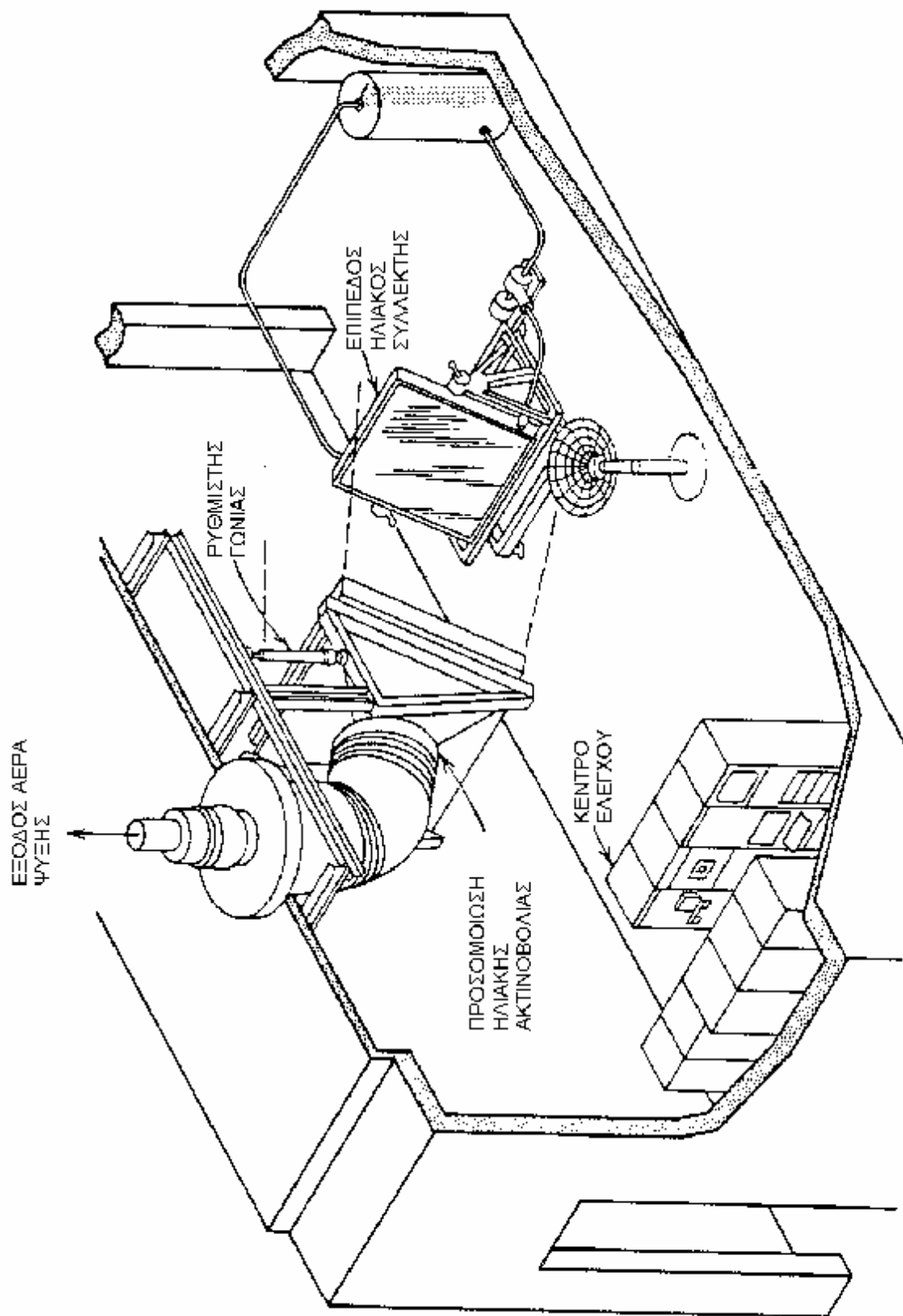
Σχήμα 6.2 Δοκιμή ανοιχτών βρόγχων για υγρό που θερμαίνεται από ηλιακούς συσσωρευτές.



Σχήμα 6.3 Δοκιμή ανοικτών βρόγχων κατά μήκος της ροής για υγρό που θερμαίνεται από ηλιακούς συσσωρευτές.



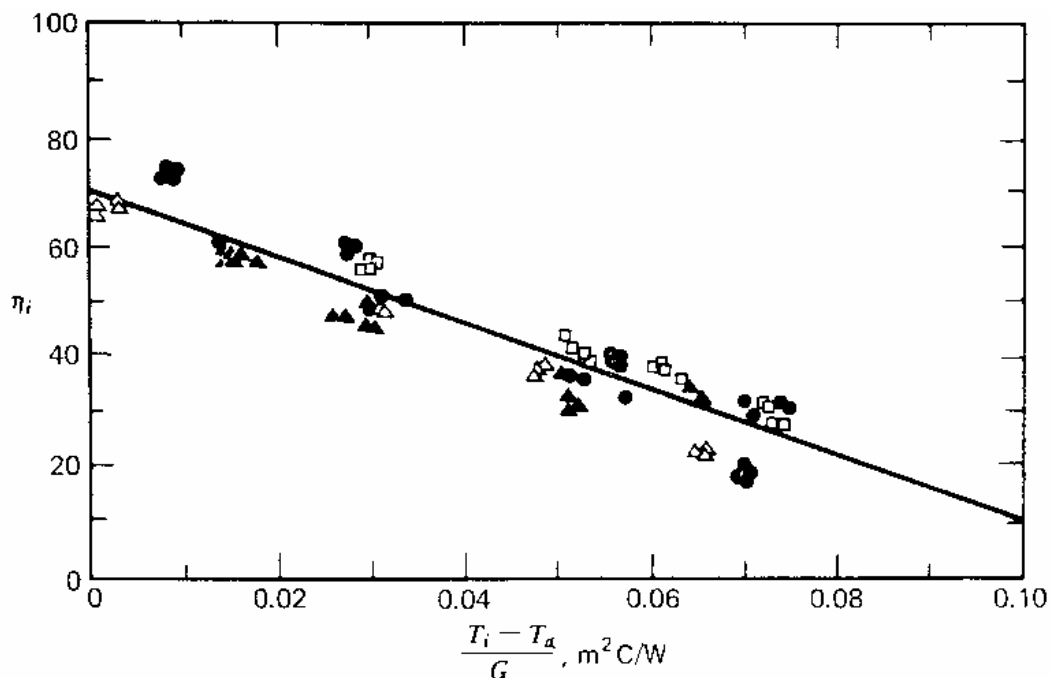
Σχήμα 6.4 Δοκιμή που οργανώνεται για συλλέκτες θέρμανσης με αέρα.



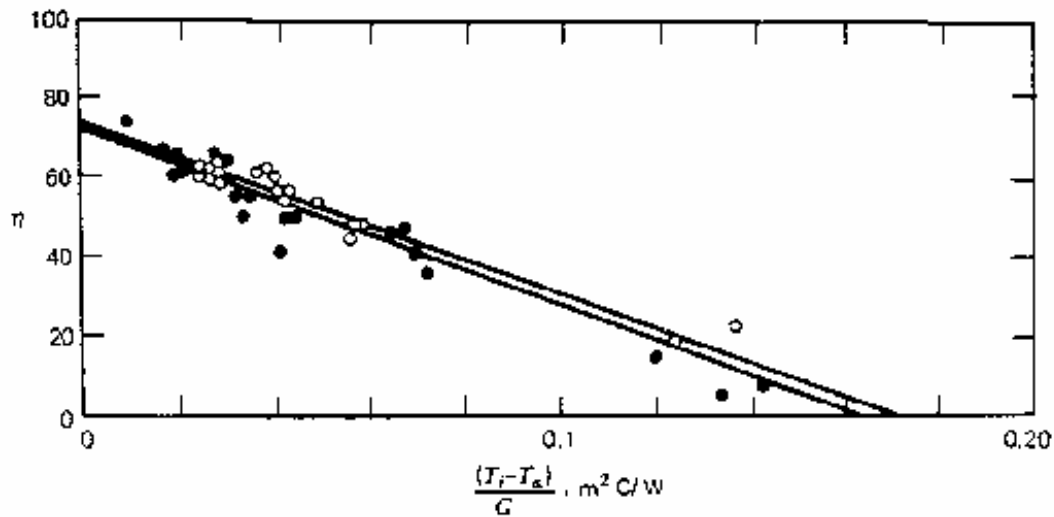
Σχήμα 6.5 Η NASA – Lewis. Δυνατότητα εσωτερικής δοκιμής συλλεκτών. Απο Vernon και Simon (1974).

Οι δοκιμές γίνονται με ένα σύνολο τιμών της θερμοκρασίας εισόδου. Για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις της θερμοχωρητικότητας των συλλεκτών, οι δοκιμές γίνονται συνήθως ανά σχεδόν συμμετρικά ζευγάρια, μια πριν και μια μετά από το ηλιακό μεσημέρι, με τα αποτελέσματα των ζευγαριών να υπολογίζονται κατά μέσο όρο. Οι στιγμιαίες αποδοτικότητες καθορίζονται από

$n = Q_u / AG$ για τα υπολογισμένα κατά μέσο όρο ζευγάρια και σχεδιάζονται συναρτήση του $(T_i - T_a) / G$. Μια γραφική αναπαράσταση στοιχείων που λαμβάνονται επί πέντε τόπων δοκιμής υπό τους όρους που ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές ASHRAE 93-77, από Streed κ.α. (1979), εμφανίζεται στο σχήμα 6.6. Μια παρόμοια γραφική αναπαράσταση για δύο συλλέκτες αέρα, από Gupta και Garg (1967), εμφανίζεται στο σχήμα 6.7. Αν U_L, F_R και $(\tau\alpha)_e$ ήταν όλα σταθερά, οι γραφικές αναπαραστάσεις του n , συναρτήση του $(T_i - T_a) / G$ θα ήταν ευθείες γραμμές με κλίση $-F_R U_L$, που τέμνουν τον άξονα των τεταγμένων στο σημείο $F_R(\tau\alpha)_e$. Εντούτοις, δεν είναι και έχουμε διασπορά στοιχείων. Το U_L είναι εξαρτημένο των θερμοκρασιών και της ταχύτητας αέρα, με μειωμένη εξάρτηση καθώς ο αριθμός των διαφανών καλλυμάτων αυξάνεται. Θα εμφανιστούν και μερικές μεταβολές των σχετικών αναλογιών της άμεσης, της διάχυτης και αντανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά συνέπεια η διασπορά στα στοιχεία πρέπει να αναμένονται, λόγω της εξάρτησης από τη θερμοκρασία, της επίδρασης του αέρα και της διαφοροποίησης της γωνίας πρόσπτωσης. Παρά αυτές τις δυσκολίες, για λόγους του υπολογισμού της μακροπρόθεσμης απόδοσης πολλών συστημάτων ηλιακής θέρμανσης, οι συλλέκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από το σημείο τομής της καμπύλης απόδοσης με τον άξονα των τεταγμένων και την κλίση της καμπύλης [δηλαδή, από $F_R(\tau\alpha)_e$, και $F_R U_L$].



Σχημα 6.6 Πειραματικά στοιχεία αποδοτικότητας συλλεκτών που μετριοούνται για έναν τύπο υγρού συλλέκτη με ένα κάλυμμα και επιλεκτικό απορροφητή. Δεκαέξι σημεία παρουσιάζονται για κάθε μια από τις πέντε περιοχές δοκιμής. Η καμπύλη παριστάνει τα θεωρητικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από τα σημεία που υπολογίζονται για τους όρους δοκιμής. Προσαρμοσμένο από Streed κ.α (1979).



Σχήμα 6.7. Πειραματικές καμπύλες θερμικής αποδοτικότητας για δύο αεροθερμαντήρες που χρησιμοποιούνται υπαίθρια. Η απορροφητική επιφάνεια ήταν επίπεδο μαύρου χρώματος. Προσαρμοσμένο από Gupta και Garg (1967).

Παράδειγμα 1

Ένας συλλέκτης θέρμανσης ύδατος με μια περιοχή ανοιγμάτων $4,10 \text{ m}^2$ εξετάζεται με τη μέθοδο ASHRAE, με την ακτινοβολία σχεδόν κάθετη στο συλλέκτη. Οι ακόλουθες πληροφορίες προέρχονται από τη δοκιμή:

Q_u	G	T_i	T_a
2511,6 W	864 W/m ²	18,2 °C	10,0 °C
549,5 W	894 W/m ²	84,1 °C	10,0 °C

Τι είναι $F_R(t_a)_e$ και F_{RU_L} για το συλλέκτη, βασισμένο στην περιοχή ανοιγμάτων του;

Λύση

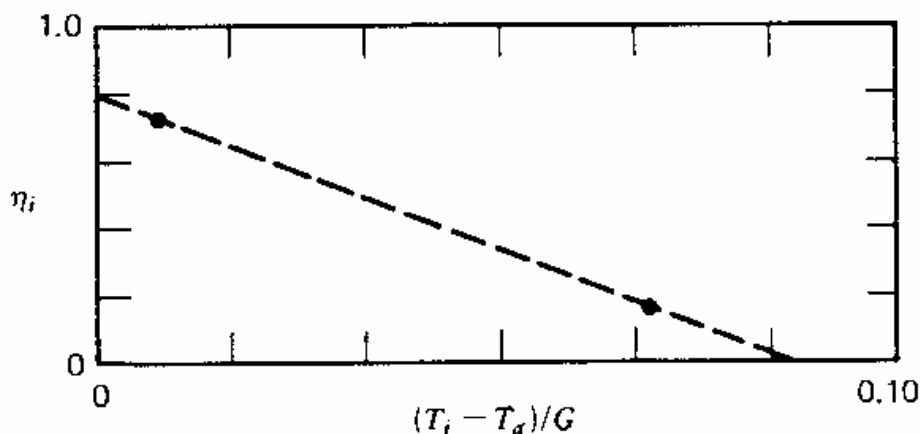
$$n = \frac{2511,6}{864 * 4,10} = 0,71 \quad \text{και}$$

Για το πρώτο σύνολο στοιχείων

$$\frac{(T_i - T_a)}{G} = \frac{(18,2 - 10,0)}{864} = 0,0095 \quad \text{m}^2\text{°C/W}$$

Για το δεύτερο σύνολο στοιχείων, $n=0,15$ και $(T_i - T_a)/G = 0,083 \text{ m}^2\text{°C/W}$. Αυτά τα δυο στοιχεία

μπορούν να σχεδιαστούν. Η κλίση είναι $\frac{(0,71 - 0,15)}{(0,0095 - 0,083)} = -7,62 \text{ W/m}^2\text{°C}$



Κατόπιν $F_{RU_L} = -$ κλίση $= -7,62 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Το σημείο τομής της γραμμής στον άξονα n είναι $0,78$, το οποίο είναι $F_R(t_a)_e$. (Οι δοκιμές παράγουν πολλαπλάσια σημεία στοιχείων. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιείται για να βρούμε την καλύτερη γραμμή).

Η περιοχή συλλεκτών εμφανίζεται στον παρονομαστή του καθορισμού του n . Οι διάφορες περιοχές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι: η ολική περιοχή, η περιοχή γυαλιού, η περιοχή ανοιγμάτων, η ασκίαστη περιοχή συλλεκτών κ.λ.π. Η ολική περιοχή συλλεκτών ορίζεται ως το μέγιστο προβαλλόμενο εμβαδό της επιφάνειας του συλλέκτη μαζί με τα μόνιμα στηρίγματα του. Η περιοχή ανοιγμάτων ορίζεται ως η ανεμπόδιστη περιοχή κάλυψης ή η συνολική περιοχή κάλυψης αφαιρώντας την περιοχή που σκεπάζεται. Η ασκίαστη περιοχή των συλλεκτών μερικές φορές χρησιμοποιείται και σε κάθε περίπτωση σε ένα σχέδιο είναι μικρότερη από την περιοχή ανοιγμάτων. Το ASHRAE 93-77 χρησιμοποιεί την ολική περιοχή συλλεκτών, μια ικανοποιητική επιλογή. Είναι απαραίτητο η περιοχή που χρησιμοποιείται να προσδιορίζεται σαφώς έτσι ώστε η

ίδια βάση περιοχής να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μετέπειτα υπολογισμούς βασισμένους στα αποτελέσματα των δοκιμών.

Παράδειγμα 2

Ο συλλέκτης του παραδείγματος 1 έχει μια ολική περιοχή $4,37\text{m}^2$. Πόσο είναι το $F_R(\text{τα})_e$ και $F_R U_L$ βασισμένο στη ολική περιοχή συλλεκτών;

Λύση

Οι αποδοτικότητες για τα δύο σύνολα στοιχείων θα μειωθούν σε $0,71 * 4,10 / 4,37 = 0,67$ και $0,15 * 4,10 / 4,37 = 0,14$. Οι τιμές του $(T_i - T_a) / G$ είναι αμετάβλητες. Κατά συνέπεια $F_R U_L = (0,67 - 0,14) / (0,0095 - 0,083) = 7,21 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ και $F_R(\text{τα})_e = 0,74$.

6.2 Σταθερά χρόνου

Η χρονική απόκριση του συλλέκτη σε μεταβολές πρέπει, να προσδιοριστεί, προκειμένου να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του συλλέκτη κατά τη διάρκεια μεταβατικών περιόδων και να επιλεγούν οι κατάλληλες χρονικές περίοδοι για τη μέτρηση του βαθμού αποδόσεως σε σταθερές ή σχεδόν σταθερές συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια μεταβατικών περιόδων, η θερμική συμπεριφορά του συλλέκτη αποδίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{C_A}{A} \frac{dT_m}{dt} = F_R G (\text{τα})_e - F_R U_L (T_i - T_a) - \frac{\dot{m}_f C_p}{A} (T_e - T_i) \quad (6.5)$$

Η εξίσωση (6.5) μπορεί να λυθεί αναλυτικά για την έξυς περίπτωση. Μεταβάλλεται απότομα η ηλιακή ακτινοβολία G ή η θερμοκρασία εισόδου T_i ή και τα δυο και διατηρούνται σταθερές στις νέες τους τιμές.

Οι παράμετροι $(\text{τα})_e$, U_L , T_a , C_p και \dot{m}_f θεωρούνται σταθερές κατά τη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου. Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας του υγρού μεταφοράς της θερμότητας κατά την έξοδο του από το συλλέκτη θεωρείται ότι αποδίδεται ικανοποιητικά, σε συνάρτηση με τον ρυθμό μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του υγρού από την έξυς

$$\frac{dT_m}{dt} = K \frac{dT_e}{dt} \quad (6.6)$$

σχέση:

Με τις παραπάνω προϋποθέσεις μπορεί η εξίσωση (6.5) να λυθεί αναλυτικά και η θερμοκρασία εξόδου του υγρού να δοθεί από την έξυς σχέση ως συνάρτηση του χρόνου :

$$e^{-\left(\frac{\dot{m}_f C_p}{K C_A}\right) t} = \frac{F_R G (\text{τα})_e - F_R U_L (T_i - T_a) - (\dot{m}_f C_p / A) (T_{e,t} - T_i)}{F_R G (\text{τα})_e - F_R U_L (T_i - T_a) - (\dot{m}_f C_p / A) (T_{e,init} - T_i)} \quad (6.7)$$

Η τιμή του $K C_A / \dot{m}_f C_p$ είναι γνωστή ως "σταθερά χρόνου" και είναι ίση με το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για να πέσει η τιμή του δεξιού μέλους της εξίσωσης (6.7) από 1 σε 0,368 ($1/e = 0,368$).

6.3 Μέτρηση της σταθεράς χρόνου του συλλέκτη

Η σταθερά χρόνου μπορεί να μετρηθεί με τις εξής δύο μεθόδους :

§ 1η μέθοδος : Ρυθμίζεται η θερμοκρασία εισόδου, ώστε να είναι ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με μέγιστη ανοχή $\pm 1^{\circ}\text{C}$, ενώ η παροχή του υγρού είναι $0,02 \text{ Kg/m}^2\text{sec}$. Οι συνθήκες διατηρούνται σταθερές, ενώ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίση ή μεγαλύτερη από 790 W/m^2 ($625 \text{ kcal/m}^2\text{h}$) . Κατόπιν μειώνεται απότομα η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο μηδέν. Αυτό μπορεί να γίνει στρέφοντας το συλλέκτη απότομα στο βορρά ή και σκεπάζοντας τον με ένα άσπρο, αδιαφανές κάλυμμα. Πρέπει όμως το κάλυμμα να κρεμαστεί λίγο πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη, για να μπορεί ο αέρας να κυκλοφορεί ελεύθερα πάνω από το συλλέκτη, όπως και πριν από τη δοκιμή.

Οι θερμοκρασίες του υγρού μεταφοράς της θερμότητας στην είσοδο και την έξοδο του συλλέκτη πρέπει να καταγράφονται, συνεχώς ως συναρτήσεις του χρόνου, ώσπου να επιτευχθεί:

$$\frac{T_{e,t} - T_i}{T_{e,init} - T_i} < 0,300 \quad (6.8)$$

§ 2η μέθοδος : Ο συλλέκτης προστατεύεται από τον ήλιο με τη μέθοδο που περιγράφεται πιο πάνω ή οι δοκιμές γίνονται τη νύκτα ή μέσα σε εσωτερικό χώρο.

Η θερμοκρασία εισόδου του υγρού μεταφοράς θερμότητας διατηρείται σε επίπεδο κατά 30°C ανώτερο της εξωτερικής θερμοκρασίας , επί χρονικό διάστημα αρκετό για να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες, ενώ η παροχή υγρού είναι $0,02 \text{ Kg/m}^2\text{sec}$. Μετά τη δημιουργία καταστάσεως ισορροπίας, η θερμοκρασία εισόδου μειώνεται απότομα στο επίπεδο της εξωτερικής θερμοκρασίας με ανοχή $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Οι θερμοκρασίες του υγρού μεταφοράς της θερμότητας στην είσοδο και την έξοδο του συλλέκτη πρέπει να καταγράφονται συνεχώς ως συναρτήσεις του χρόνου, ώσπου να επιτευχθεί:

$$\frac{T_{e,t} - T_i}{T_{e,init} - T_i} < 0,300$$

6.4 Υπολογισμός της σταθεράς χρόνου

Σύμφωνα με τους ορισμούς της παραγράφου 6.2 , η σταθερά χρόνου είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το μέγεθος του δεξιού μέλους της εξίσωσης (6.7) την τιμή 0,368.

Ανεξάρτητα από ποιά από τις δύο μεθόδους που περιγράφονται στην παράγραφο 6.3

χρησιμοποιείται, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίση με μηδέν και η θερμοκρασία

εισόδου είναι κατά προσέγγιση ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, δηλαδή $(T_i - T_a) =$

0. Επομένως, καταγράφοντας τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του υγρού σε συνάρτηση με το χρόνο, μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά χρόνου, που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για

$$\frac{T_{e,t} - T_i}{T_{e,init} - T_i} < 0,368$$

να επιτευχθεί η επόμενη σχέση :

Αν δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί θερμοκρασία εισόδου του υγρού ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με ανοχή $\pm 1^{\circ}\text{C}$, τότε πρέπει να εκτιμηθεί το γινόμενο $F_R U_L$ για το συλλέκτη στις συνθήκες της δοκιμής και να υπολογιστεί η σταθερά χρόνου, ως ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί η επόμενη σχέση :

$$\frac{F_R U_L (T_i - T_a) + \frac{\dot{m}_f C_p}{A} (T_{e,t} - T_i)}{F_R U_L (T_i - T_a) + \frac{\dot{m}_f C_p}{A} (T_{e,init} - T_i)} = 0,368$$

$$F_R U_L (T_i - T_a) + \frac{\dot{m}_f C_p}{A} (T_{e,init} - T_i) \tag{6.9}$$

Πάντως, η θερμοκρασία εισόδου του υγρού δεν πρέπει να διαφέρει, πάνω από 5°C απο τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΜΕ ΥΓΡΟ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ

7.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής

Το πείραμα θα γίνει για επίπεδο συλλέκτη που χρησιμοποιείται για θέρμανση υγρών.

- § Η δοκιμές και η μέθοδος υπολογισμού, έχουν σκοπό τον προσδιορισμό του στιγμιαίου βαθμού αποδόσεως συλλέκτη σε σταθερές συνθήκες ή σχεδόν σταθερές .
- § Το υγρό που περνά μέσα απο το συλλέκτη δεν πρέπει να περιέχει ατμούς ή αέρια.
- § Οι δοκιμές γίνονται σε εξωτερικό χώρο, σε συνθήκες φυσικής ηλιακής ακτινοβολίας.
- § Τα υγρό μεταφοράς της θερμότητας εισέρχεται από ένα μόνο σημείο (είσοδος) και εξέρχεται από ένα άλλο (έξοδος).

7.2 Συνθήκες δοκιμών

Οι συνθήκες δοκιμών, για να είναι σταθερές ή σχεδόν σταθερές (κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, που θα πρέπει να είναι από 20-30 min για καθεμία), πρέπει να ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις:

- § Πρίν αρχίσουν οι δοκιμές πρέπει να τοποθετηθεί ο συλλέκτης με τον προσανατολισμό και τη γωνία που γίνονται οι δοκιμές, αλλά χωρίς υγρό μεταφοράς θερμότητας και να υποβληθεί σε ηλιακή ακτινοβολία επί τρεις ημέρες , όχι κατ' ανάγκη διαδοχικές, κατά τις οποίες η μέση ημερήσια έκθεση στην ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη θα είναι τουλάχιστο 17000 KJ/m^2 (4500 Kcal/m^2) την ημέρα.
- § Ο συλλέκτης που δοκιμάζεται είναι όπως διατίθεται στο εμπόριο. Αν πρόκειται για συναρμολογούμενο συλλέκτη, σημαντικού μεγέθους, τότε μπορεί να δοκιμάζεται τμήμα του με την προϋπόθεση ότι η συναρμολόγηση και η μόνωση του θα γίνεται έτσι, ώστε οι απώλειες από το πίσω μέρος (πλάτη) και από τα πλαϊνά τοιχώματα να είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικής κατασκευής.
- § Ο συλλέκτης έχει εγκατασταθεί σε μέρος, που κατά τη διάρκεια όλης της δοκιμής να μην αντανakλάται ή επανακτινοβολείται καμιά σημαντική ποσότητα ενέργειας στο συλλέκτη από γύρω κτίρια ή από οποιαδήποτε επιφάνεια στην περιοχή γύρω από τον τόπο των δοκιμών.

Το έδαφος και οι τοίχοι γύρω από το συλλέκτη έχουν ανακλαστικότητα μικρότερη από 0,2 , έτσι ο τόπος είναι κατάλληλος . Στην περίπτωση που μπορεί να υπάρξει σημαντική ανάκλαση, τότε πρέπει να τοποθετηθεί προστατευτική ασπίδα. Ο συλλέκτης έχει τοποθετηθεί με τρόπο, ώστε κατά τη διάρκεια των δοκιμών να μην πέφτουν επάνω του σκιές.

- § Οι καιρικές συνθήκες, πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε η μέση ολική ακτινοβολία, που μετρείται στο επίπεδο του συλλέκτη και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του στιγμιαίου βαθμού αποδόσεως να μην είναι μικρότερη από 650 W/m^2
- § Μεταβολή έντασης ολικής ακτινοβολίας $<50 \text{ W/m}^2$
- § Η μέτρηση του βαθμού αποδόσεως, γίνεται στο χρονικό διάστημα που περιλαμβάνει δύο ώρες πριν και δύο μετά από το ηλιακό μεσημέρι. Ο συλλέκτης έχει τοποθετηθεί με τέτοια κλίση, ώστε η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο παράθυρο του συλλέκτη να είναι μικρότερη από 40° .

- § Οι μετρήσεις της κατευθύνσεως και της ταχύτητας του ανέμου γίνονται κοντά στο συλλέκτη και στο ύψος του μέσου του συλλέκτη περίπου. Η ταχύτητα του ανέμου καταγράφεται. Η ταχύτητα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 m/s.
- § Κατά τη διάρκεια της δοκιμής η περιοχή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 15⁰C και 35⁰C.
- § Μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος ±1 K
- § Η ειδική θερμότητα του υγρού μεταφοράς θερμότητας πρέπει να διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια των δοκιμών και η διακύμανση της να είναι μικρότερη από 0,5% για όλες τις θερμοκρασίες που απαντώνται κατά τις δοκιμές. Επίσης η διακύμανση της πυκνότητας του υγρού κατά τις δοκιμές δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,5%.
- § Παροχή μάζας υγρού (ανά μονάδα επιφάνειας παραθύρου) 0,02 Kg/m²sec
- § Μεταβολές παροχής ±1%
- § Μεταβολές θερμοκρασίας εισόδου ± 0,1K
- § Περιοχή διαφορών θερμοκρασίας στην έξοδο

και είσοδο του συλλέκτη

1,5-15 K

Εφόσον εξασφαλίζονται τα παραπάνω όρια η ελαχιστοποίηση του σφάλματος μέτρησης γίνεται με την ολοκλήρωση ή τον υπολογισμό του μέσου όρου των καταγραφόμενων μεγεθών στα τελευταία 10-15 min της περιόδου των μετρήσεων.

Επίσης για να μην εμφανίζονται φαινόμενα θερμοχωρητικότητας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πριν από κάθε δοκιμή είναι αναγκαίο να προθερμαίνεται ο συλλέκτης στους 80°C για 30 τουλάχιστον λεπτά.

7.3 Πειραματική διάταξη και μέθοδος μετρήσεων

Οι παράμετροι που μετρώνται και καταγράφονται στο σύστημα αυτό είναι:

- § Παροχή όγκου του υγρού κυκλοφορίας
- § Θερμοκρασία εισόδου στους συλλέκτες
- § Διαφορές θερμοκρασιών υγρού μεταξύ εξόδου - εισόδου συλλεκτών
- § Πτώση πίεσης του υγρού κυκλοφορίας στο συλλέκτη
- § Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στα επίπεδα των συλλεκτών
- § Γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο παράθυρο του συλλέκτη
- § Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- § Ταχύτητα ανέμου
- § Διαπερατότητα διαφανούς καλύμματος συλλέκτη
- § Απορροφητικότητα απορροφητήρα

Ο ηλιακός συλλέκτης

Το έδρανο των μετρήσεων και η στερέωση των συλλεκτών είναι έτσι, ώστε να είναι σταθεροί και να αντέχουν σε ισχυρό άνεμο. Υπάρχει δυνατότητα αλλαγής της κλίσης του συλλέκτη.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

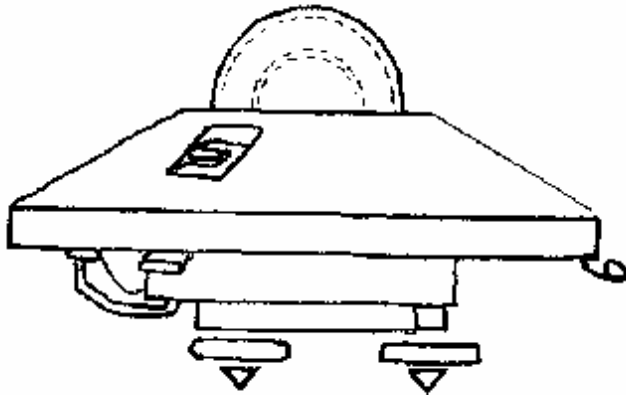
Το αισθητήριο μετρήσεως της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα - THIES CLIMA 1183 - έχει εγκατασταθεί μέσα σε μετεωρολογικό κλωβό, που η βάση του βρίσκεται σε ύψος 1,25 m πάνω από το δάπεδο και η πόρτα του είναι στραμμένη στο βορρά έτσι, ώστε όταν ανοίγει να μην επηρεάζεται η μέτρηση της θερμοκρασίας από την ηλιακή ακτινοβολία. Ο κλωβός είναι βαμμένος άσπρος και η απόσταση του από κάθε αντικείμενο (δέντρο, φράκτη, κτίριο) είναι τουλάχιστο διπλάσια από το υψός του αντικειμένου αυτού.

Ηλιακή ακτινοβολία

Για την λήψη των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούμε πυρανόμετρο CM11 (KIPP & ZONEN). Το πυρανόμετρο είναι ένα όργανο για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από ένα ολόκληρο ημισφαίριο. Είναι κατάλληλο για την μέτρηση της ολικής ηλιακής συν διάχυτης ακτινοβολίας. Οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικές μεταξύ περιοχών . Η εποχή, η ώρα της ημέρας, η ανύψωση του γύρω εδάφους, φτιαγμένα εμπόδια από τον άνθρωπο, δένδρα, μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες μεταβολές σε μέρη μιας μικρής περιοχής.

Οι αναφορές για τις μετρήσεις της ακτινοβολίας γίνονται με βάση τον τοπικό ηλιακό χρόνο. Η στιγμιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία μετριέται με πυρανόμετρο κατά τις δοκιμές των συλλεκτών. Το πυρανόμετρο έχει τοποθετηθεί με τρόπο, ώστε το αισθητήριο του να είναι στο ίδιο επίπεδο με το συλλέκτη. Το πυρανόμετρο δεν επισκιάζει, το συλλέκτη κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Το πυρανόμετρο είναι τοποθετημένο στο μέσο της πάνω πλευράς του συλλέκτη. Τα καλώδια που βγαίνουν από το πυρανόμετρο κατευθύνονται προς το βορριά και είναι σε σκιά για να αποφεύγεται θέρμανση τους.

Το πυρανόμετρο CM11 απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3 Πυρανόμετρο CM11

Μέτρηση διαφορών θερμοκρασίας του υγρού μεταφοράς θερμότητας

Η μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας του υγρού στην είσοδο και την έξοδο του συλλέκτη , γίνεται με έναν ολοκληρωτή διαφοράς θερμοκρασίας - WIENER SN50/5 - ο οποίος διαθέτει αισθητήρια τοποθετημένα όσο το δυνατό πλησιέστερα στην είσοδο και την έξοδο, αντίστοιχα. Γύρω ή πριν από τα αισθητήρια υπάρχουν στροβιλιστήρες για την ανάμιξη του υγρού. Το μέρος του σωλήνα που βρίσκεται μεταξύ του στροβιλιστήρα και του συλλέκτη είναι μονωμένο, έτσι, ώστε οι υπολογιζόμενες απώλειες (ή οι απολαβές) θερμότητας προς τον περιβάλλοντα αέρα να μην προκαλούν μεταβολή στη θερμοκρασία, για οποιαδήποτε μέτρηση, μεγαλύτερη από 0,05 °C στο μήκος αυτο.

Σε καμιά περίπτωση η μικρότερη υποδιαίρεση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της ακρίβειας της μετρήσεως π.χ. αν η προδιαγραμμένη ακρίβεια μετρήσεων είναι $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, η μικρότερη υποδιαίρεση θα είναι το πολύ 0,2°C.

Πτώση πίεσης στο συλλέκτη

Η μέτρηση της πτώσης πίεσης στο συλλέκτη γίνεται με αισθητήριο διαφοράς πίεσης , διαφορικό πιεσόμετρο FISCHER & PORTER . Οι άκρες των οπών στην εσωτερική επιφάνεια των σωλήνων δεν έχουν προεξοχές και η διάμετρος των οπών είναι 1,5mm . Το πάχος του

τοιχώματος των σωληνώσεων είναι 2,5 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο της οπής. Πρέπει να γίνεται μέτρηση της απόλυτης πίεσης του υγρού κατά την είσοδο του στο συλλέκτη.

Ψύξη και θέρμανση του υγρού

Για τη διάταξη πειραματικής συσκευής (κλειστού κυκλώματος σχήμα 7.1) χρειάζεται εναλλάκτης θερμότητας για την ψύξη του υγρού καθώς και ρυθμιζόμενη αντίσταση για να θερμαίνει το υγρό στην απαιτούμενη θερμοκρασία εισόδου, ρυθμιστής θερμοκρασιών εισόδου EURO THERM INTERNATIONAL 820. Ο εξοπλισμός είναι σε θέση να ρυθμίζει τη θερμοκρασία εισόδου στο συλλέκτη με ακρίβεια $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

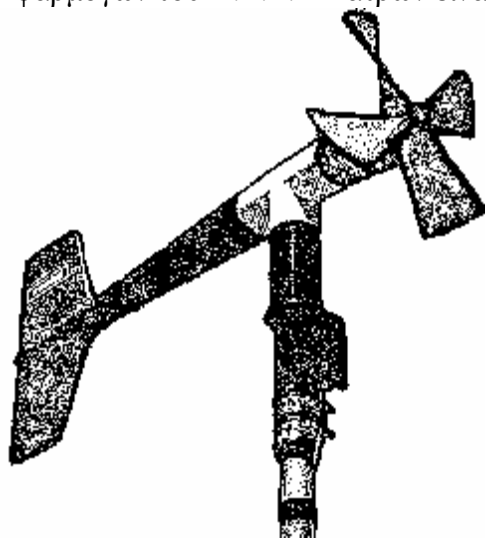
Μέτρηση της παροχής μάζας του υγρού

Η ακρίβεια της μετρήσεως της παροχής μάζας - ογκομετρικό ροόμετρο Aqua metro SN 144 - λαμβάνοντας υπόψη την καμπύλη σφάλματος του οργάνου, πρέπει να είναι καλύτερη από το $\pm 1,0\%$ της μετρούμενης τιμής.

Όργανα υπολογισμού της διεύθυνσης και της έντασης του ανέμου

Τα ανεμόμετρα μετρούν την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια. Για να μας δώσουν πραγματικές μετρήσεις δεν τοποθετούνται κοντά στο έδαφος ούτε κοντά σε δένδρα ή άλλα εμπόδια. Η απόσταση στην οποία πρέπει να τοποθετούνται πρέπει να είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από το ύψος του εμποδίου. Η δε απόσταση τους από το έδαφος απεφασίσθει διεθνώς να είναι 10m. Κατά την τοποθέτηση πρέπει να αποφεύγονται κορυφές λόφων με απότομες πλαγιές και τα απότομα βραχώδη υψώματα.

Τα ανεμόμετρα που χρησιμοποιούνται στον μετεωρολογικό σταθμό της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι Πατρών είναι τύπου R. M. YOUNG 05103.



Σχήμα 7.4 Ανεμόμετρο R. M. YOUNG

Η κατασκευή του ανεμόμετρου γίνεται κυρίως από άκαμπτο σταθεροποιημένο θερμοπλαστικό με ανοξείδωτο χάλυβα και αλουμινένια εξαρτήματα. Το όργανο είναι τοποθετημένο στάνταρ σε 1 ίντσας σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου 34mm. Ένας αισθητήρας είναι διαθέσιμος για να μετατρέπει σήματα εξόδου σε αναλογίες τάσης. Ένα κύκλωμα γραμμικού κινητήρα επίσης είναι διαθέσιμο για την διατήρηση της ποιότητας των σημάτων κατά την διάρκεια μακρινών γραμμών μετάδοσης του αισθητήρα.

Διαστάσεις:

Ολικό ύψος :	37cm
Ολικό μήκος :	55 cm
Κύριο περίβλημα :	5,0 cm διάμ.
Έλικας :	18 cm διάμ.
Εφαρμογή:	34 mm διάμ.

Βάρος:

Βάρος αισθητήρα :	1,0 Kgr
Βάρος ατράχτου :	2,3 Kgr , κατά προσέγγιση

Μετρήσεις χρόνου καί μάζας

Η ακρίβεια των μετρήσεων χρόνου καί μάζας που γίνονται με σκοπό τη βαθμονόμηση , πρέπει να είναι καλύτερη από $\pm 0,20\%$.

Καταγραφικό

Όλες οι τιμές από, τις μετρήσεις των οργάνων συγκεντρώνονται σε ένα καταγραφικό (CR10) με εγγυημένη λειτουργία από -25°C έως $+50^{\circ}\text{C}$. Έχει τις εξής δυνατότητες :

- Αποτελείται από σένσορες που παίρνουν ισχύ απ' ευθείας από το καταγραφικό δεδομένων.
- Φέρει ευρείας μαθήσεως σειτ που επιτρέπει τον υπολογισμό του μέσου όρου, του μέγιστου και του ελάχιστου για κάθε επιθυμητή περίοδο (ή περιόδους)
- Κάνει τον υπολογισμό, την παρακολούθηση και των έλεγχο συνθηκών που επικρατούν.
- Φέρει συμπληρωματικούς σένσορες εύκολα προστιθέμενους μετά την αρχική εγκατάσταση.
- Μπορεί να επαναπρογραμματιστεί στο πεδίο χωρίς P.C.
- Έχει διαθέσιμο ψηφιακό και αναλογικό έλεγχο των εξόδων.

- Λειτουργεί για αρκετούς μήνες χωρίς φροντίδα με ένα σετ από μπαταρίες που μπορούν εύκολα ν' αντικατασταθούν (επίσης διατίθενται και επανασφορτιζόμενες μπαταρίες).
- Τα δεδομένα μεταφέρονται με απ' ευθείας σύνδεση σε P.C.
- Όλα τα ηλεκτρονικά είναι προστατευμένα σε χώρο στεγανό από νερό και σκόνη.
- Περιλαμβάνεται προστασία από κεραυνό με γείωση.

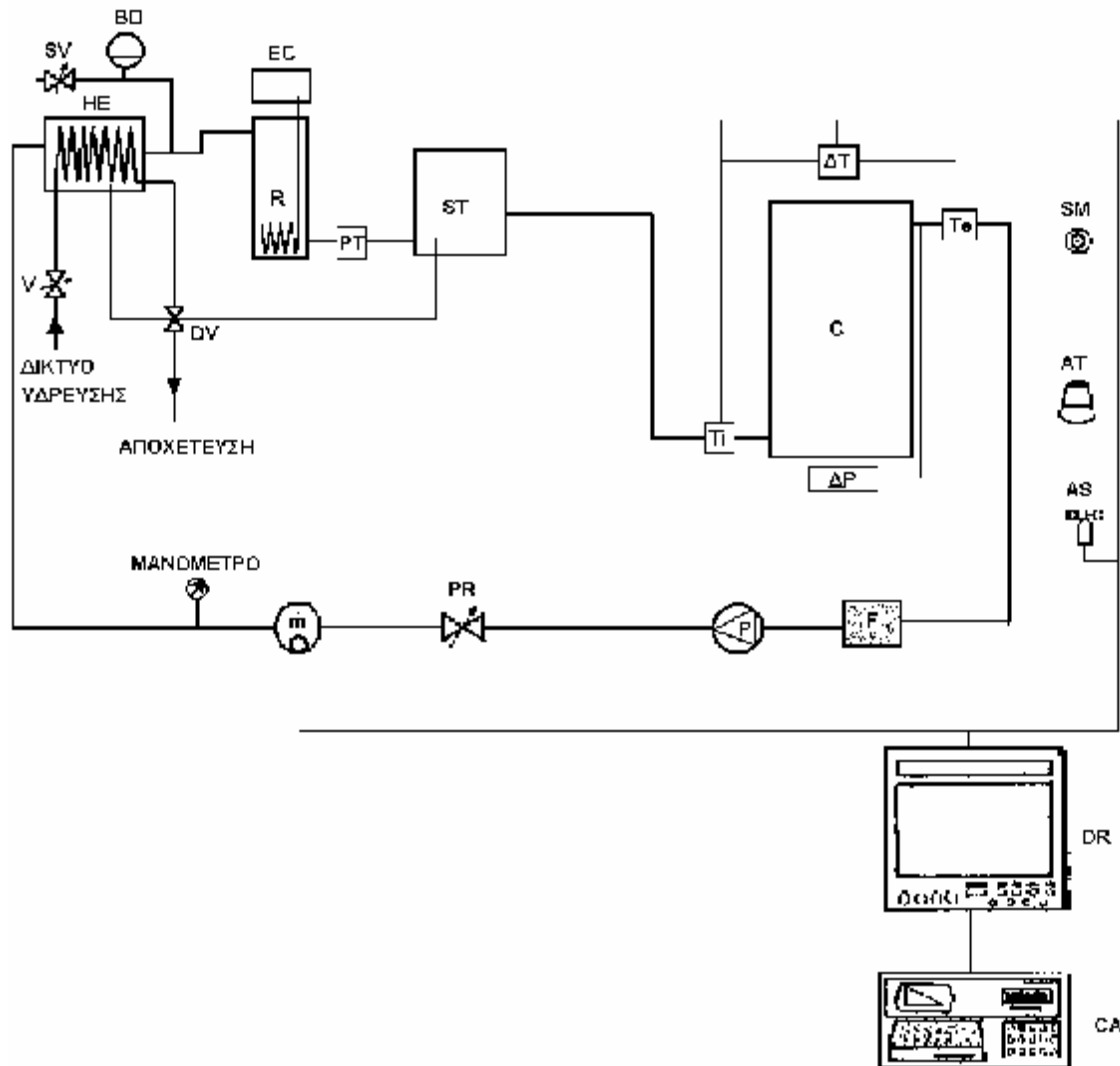
Πρόσθετος εξοπλισμός

Η διάταξη δοκιμής περιλαμβάνει όργανα για τη ρύθμιση της παροχής. Στο σωλήνα ακριβώς πριν από το συλλέκτη υπάρχει μια βαλβίδα, για καλή ρύθμιση της ροής. Επίσης έχει τοποθετηθεί στην εγκατάσταση : δοχείο αποθηκεύσεως, δοχείο διαστολής, σωλήνας εξαερισμού και ανακουφιστική βαλβίδα , κυκλοφορητής . Επίσης η εγκατάσταση περιλαμβάνει φίλτρα και δείκτη ροής για να εξασφαλίζεται ότι το υγρό μεταφοράς θερμότητας δεν περιέχει στερεά ή φυσαλλίδες αέρα.

Περιγραφή συστήματος

Η πειραματική διάταξη είναι αυτή που παριστάνεται στο σχήμα 7.1 . Το θερμό υγρό κυκλοφορίας από την έξοδο του συλλέκτη C περνά μέσα από τον εναλλακτήρα θερμότητας HE όπου υποβιβάζεται η θερμοκρασία του. Στο δευτερεύον του εναλλακτήρα κυκλοφορεί νερό με θερμοκρασία περίπου 15°C από το δίκτυο της πόλης . Η κυκλοφορία του ψυχρού νερού στο δευτερεύον ρυθμίζεται (κατ' όγκο) από τη βάννα ρύθμισης DV, η οποία ελέγχεται από τη διαφορά της τελικής θερμοκρασίας εισόδου στο συλλέκτη C και της υπάρχουσας θερμοκρασίας στην είσοδο του εναλλακτήρα HE. Η διαφορά θερμοκρασίας είναι ρυθμισμένη σταθερά στους 5C° . Μεταβολές της τιμής αυτής έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση ή ελάττωση της ροής του ψυχρού νερού των 15°C . Η τελική λεπτή ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του συλλέκτη C, γίνεται από το σταθεροποιητικό EC , με ακρίβεια $0,1^{\circ}\text{C}$, μέσω της θερμικής ηλεκτρικής αντίστασης R . Το δοχείο ST, χρησιμεύει για την εξομάλυνση τυχαίων μεταβολών της θερμοκρασίας του υγρού κυκλοφορίας πριν την είσοδο του συλλέκτη. Όλες οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπό μορφή ηλεκτρικών σημάτων, οδηγούνται μέσω καταγραφικού, στον υπολογιστή , ο οποίος μας δίνει τελικά τις καμπύλες του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης των θερμικών απωλειών Q_u , του ολικού συντελεστή θερμικών απωλειών

U₀ καθώς και τους συντελεστές των αντίστοιχων εξισώσεων.



Σχήμα 7.1 Πειραματική διάταξη εργαστηρίου

C:	Επίπεδος συλλέκτης
HE:	Εναλλάκτης θερμότητας
DV:	Διαφορική βάννα
EC:	Ηλεκτρονικός σταθεροποιητής θερμοκρασίας νερού
PT:	Θερμόμετρο πλατίνας
ΔP:	Διαφορικό πιεσόμετρο
ΔT:	Μετρητής διαφοράς θερμοκρασίας
T _i :	Θερμόμετρο PT (θερμοκρασία εισόδου)
T _e :	Θερμόμετρο PT (θερμοκρασία εξόδου)
<i>m</i> :	Ροόμετρο
F:	Φίλτρο
P:	Κυκλοφορητής
PR:	Ρυθμιστής πίεσης υγρού κυκλοφορίας
SV:	Βαλβίδα ασφαλείας
BD:	Δοχείο διαστολής
ST:	Δοχείο σταθερής θερμοκρασίας

R:	Θερμική αντίσταση
V:	Βάνα ρύθμισης παροχής νερού ψύξης
SM:	Πυρανόμετρο
AT:	Αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος
AS:	Μετρητής ταχύτητας ανέμου
DR:	Καταγραφικό δεδομένων
CA:	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

7.4 Έλεγχος θερμικής απόδοσης ηλιακών συλλεκτών

Η πλέον χαρακτηριστική παράμετρος που καθορίζει τη θερμική συμπεριφορά των ηλιακών συλλεκτών είναι ο βαθμός απόδοσης

7.4.1 Γενικά

Ο στιγμιαίος βαθμός αποδόσεως των ηλιακών συλλεκτών είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας εισόδου του υγρού. Για τον προσδιορισμό του στιγμιαίου βαθμού αποδόσεως, χρειάζεται να μετρηθούν οι τιμές της στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας και του ρυθμού προσθήκης ενέργειας στο υγρό μεταφοράς της θερμότητας, που περνά από το συλλέκτη, σε συνθήκες σταθερές ή σχεδόν σταθερές. Κατά τον προσδιορισμό αυτόν ελέγχονται και τα χαρακτηριστικά της χρονικής αποκρίσεως του συλλέκτη. Η πρώτη δοκιμή που πρέπει να γίνει στο συλλέκτη είναι η μέτρηση της σταθεράς χρόνου. Ύστερα, πρέπει να γίνει σειρά δοκιμών για τον προσδιορισμό του βαθμού αποδόσεως.

7.4.2 Πειραματικός προσδιορισμός του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης. Καμπύλη, βαθμού απόδοσης – απωλειών.

Η εξίσωση $n = \frac{\dot{q}_u}{G} = F'(\tau\alpha)_e - F'U_L \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) = \frac{\dot{m}_f C_p \Delta T}{AG}$ γράφεται :

$$n = \frac{\dot{m}_f C_p \Delta T}{AG} = n_0 - U_0 \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) \quad (7.1)$$

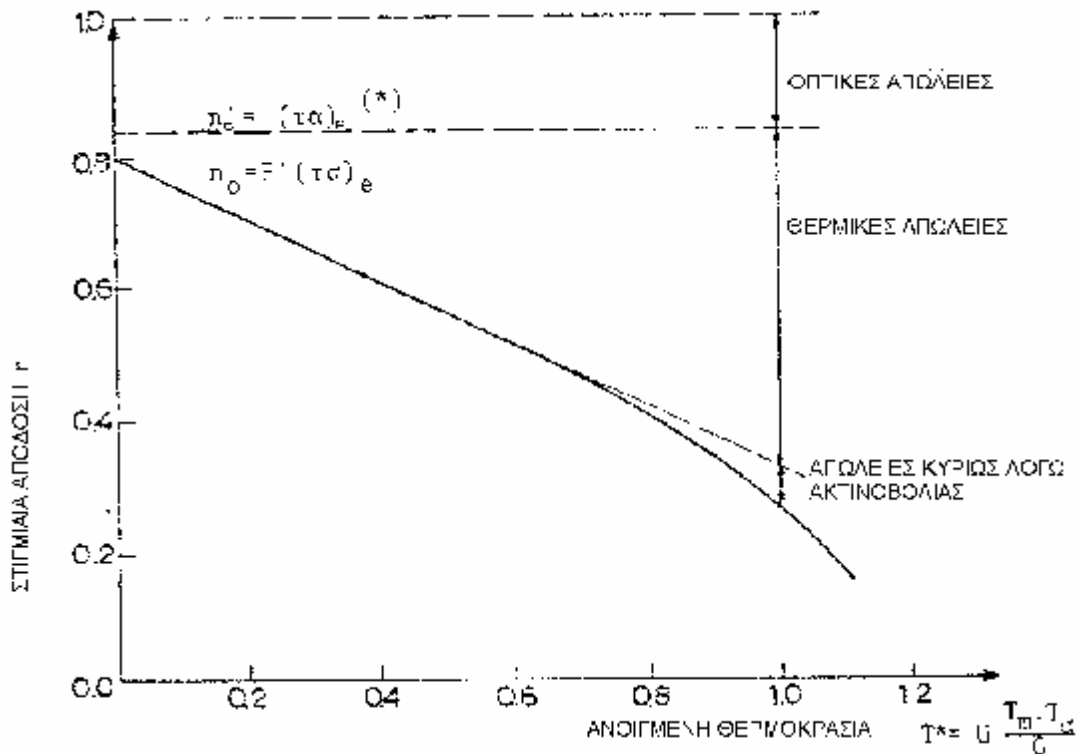
Όπου: $n_0 = F'(\tau\alpha)_e$ στιγμιαία απόδοση για $T_m = T_a$

$U_0 = F'U_L$ ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Η εξίσωση (7.1) απεικονίζει, τη στιγμιαία απόδοση του επίπεδου συλλέκτη, για σταθερές ή σχεδόν σταθερές συνθήκες, σε συνάρτηση του αδιάστατου μεγέθους T^* (βλέπε σχήμα 7.2) όπου :

$$T^* = U \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)$$

$U = 10 \text{ w m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (αυθαίρετος συντελεστής κανονικοποίησης)



Σχήμα 7.2 Σχηματική παράσταση της θερμικής απολαβής και των θερμικών απωλειών του ηλιακού συλλέκτη.

Το η_0 προσδιορίζεται από το σημείο τομής της καμπύλης απόδοσης με τον κατακόρυφο άξονα, το δε U_0/U είναι η κλίση της εφαπτομένης, σε κάθε σημείο της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης.

(*) Το η_0 , είναι η απόδοση του συλλέκτη όταν $F'=1$ (δηλ $T_p = T_m$) και $T_p = T_a$.

7.4.3 Μέθοδος δοκιμών προσδιορισμού της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης

Η μέθοδος που ακολουθεί καθορίζει τον βαθμό απόδοσης και γενικότερα τη θερμική συμπεριφορά των ηλιακών συλλεκτών. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η καμπύλη του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης του συλλέκτη όταν αυτός βρίσκεται εκτεθειμένος στις ηλιακές ακτίνες στο περιβάλλον.

Η μέθοδος αυτή, για τον προσδιορισμό της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης, βασίζεται στην εξίσωση :

$$\eta = \alpha_0 - \alpha_1 T^* - \alpha_2 (T^*)^2 \quad (7.2)$$

Όπου $T^* = U \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)$

Τα $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και από τα ζεύγη τιμών (η, T^*) που προκύπτουν από δοκιμές. Το α_0 είναι η τιμή (η) για $T^* = 0$, δηλαδή $\alpha_0 = \eta_0$. Τα α_1 και α_2 είναι συντελεστές θερμικών απωλειών. Επιλέγεται η μορφή (7.2) γιατί ο συντελεστής θερμικών απωλειών, U_0 , της εξίσωσης (7.1) είναι της μορφής :

$$U_0 = U_1 + U_2 (T_m - T_a) \quad (7.2a)$$

Η εξίσωση (7.2a) (η οποία επαληθεύεται και πειραματικά) δίνει το U_0 ως συνάρτηση της διαφοράς ($T_m - T_a$). Τα U_1 και U_2 , είναι "ισχυρές" συναρτήσεις του αριθμού των καλυμμάτων, N , του συλλέκτη και της ταχύτητας V_w , του αέρα στο επίπεδο του συλλέκτη. Η εξίσωση

(7.2α) και κατά συνέπεια η εξίσωση (7.2), ισχύει με αρκετή ακρίβεια για τις παρακάτω συνήθεις φυσικές συνθήκες:

T_a : -20°C έως 40°C

V_w : 0 m/s έως 5 m/s

και για N : από 1 έως 3.

Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος από 15°C έως 35°C και ταχύτητες αέρα έως 1,5 m/s και $N \geq 2$, ο συντελεστής U_2 , είναι αμελητέος (δηλαδή οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας είναι αμελητέες), οπότε η καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης δίνεται από τη γραμμική εξίσωση: $\eta = \alpha_0 - \alpha_1 T^*$

7.4.4 Διαδικασία ελέγχου ηλιακών συλλεκτών

Η στιγμιαία απόδοση των επίπεδων συλλεκτών υπολογίζεται για διάφορες θερμοκρασίες εισόδου στην περιοχή από αυτή του περιβάλλοντος T_a , μέχρι τους 90°C. Στην πράξη επιλέγονται 6 θερμοκρασίες και για καθεμία παίρνουμε δύο μετρήσεις (μια σειρά μετρήσεων πριν το ηλιακό μεσημέρι και μία μετά) με γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο παράθυρο του συλλέκτη μικρότερη των 40° και με μεταβολές της έντασης της ολικής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της μέτρησης μικρότερης των 50W/m². Οι θερμοκρασίες εισόδου που επιλέγονται είναι:

$$(\alpha) T_i = T_a, \quad G \pm 2\%$$

$$(\beta) T_i = T_a + 15^{\circ}\text{C}, \quad G \pm 2\%$$

$$(\gamma) T_i = T_a + 30^{\circ}\text{C}, \quad G \pm 2\%$$

$$(\delta) T_i = T_a + 45^{\circ}\text{C}, \quad G \pm 2\%$$

$$(\epsilon) T_i = T_a + 60^{\circ}\text{C}, \quad G \pm 2\%$$

$$(\sigma\tau) T_i = T_a + 75^{\circ}\text{C}, \quad G \pm 2\%$$

$$\text{Οπότε με βάση την εξίσωση } \eta = \frac{\dot{q}_u}{G} = F'(\tau\alpha)_e - F'U_L \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) = \frac{\dot{m}_f C_p \Delta T}{AG}$$

και με χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων χαράζουμε την καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης (η) σε συνάρτηση του (T^*) και είναι της μορφής 7.2. Πειραματικές μετρήσεις και καμπύλες στιγμιαίας απόδοσης, με τη μέθοδο αυτή, δίνονται στους πίνακες Π-5, Π-6 και Π-7, τους οποίους παίρνουμε από τον υπολογιστή κατευθείαν, βάσει κατάλληλου προγράμματος που έχουμε επεξεργαστεί.

7.4.5 Πίνακες μετρήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τρεις αντιπροσωπευτικούς πίνακες που αναφέρονται στη μέθοδο που αναπτύξαμε παραπάνω. Οι δοκιμές που έγιναν αναφέρονται σε τρεις διαφορετικού σχεδιασμού πίνακες.

1. Συλλέκτης S.V./1 (ένα κάλυμμα) Πίνακας Π-5
2. Συλλέκτης M.12 (δύο καλύμματα) " Π-6
3. Συλλέκτης F.12 (δύο καλύμματα) " Π-7

Στον πίνακα Π-5 δίνονται όλες οι παράμετροι καθώς και η καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης, με τους αντίστοιχους συντελεστές η_0 , α_1 , α_2 , της μεθόδου ASHRAE / NBS για το συλλέκτη S.V/1.

Στο πίνακα Π-6 παρουσιάζονται, οι μετρήσεις και η καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης για το συλλέκτη Μ.12.
Στον πίνακα Π-7 παρουσιάζονται οι μετρήσεις και η καμπύλη στιγμιαίας απόδοσης για το συλλέκτη F.12.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ: S.V/1

ΕΜΒΑΔΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ: 1,943 m²

G_m=912,1 W/m²

C_p=4184,4 J/KgK

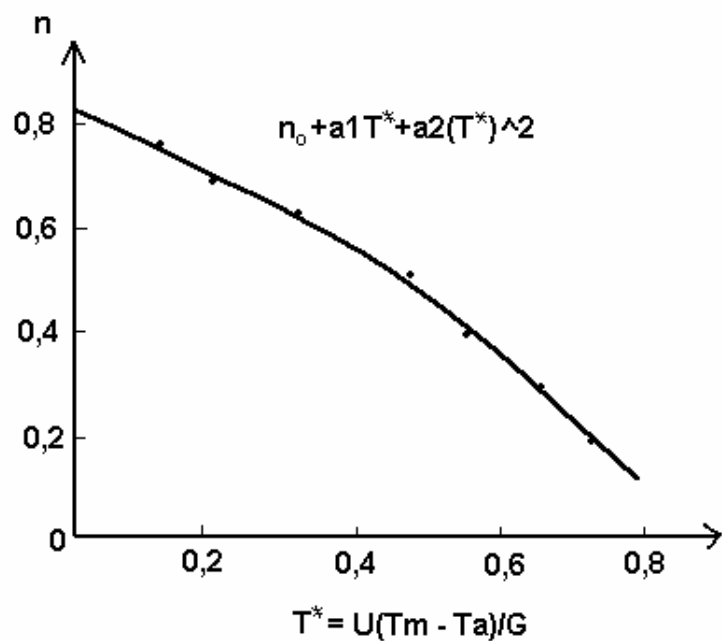
G W/m ²	T _a °C	T _i °C	ΔT °C	T _m °C	\dot{m}_f Kg/sec	T _m -T _a °C	T*	n	V _w m/s	C _p Kj/KgK
870	26,85	30,30	8,02	34,31	0,039	7,46	0,09	0,774	0,8	4177
944	27,00	40,40	7,83	44,32	0,039	17,32	0,18	0,697	1,0	4178
933	27,00	49,80	6,98	53,29	0,039	26,29	0,28	0,628	0,7	4181
851	27,20	59,50	5,55	62,28	0,038	35,08	0,41	0,534	0,8	4185
962	25,42	69,50	5,16	72,08	0,038	46,66	0,49	0,439	1,4	4190
954	25,75	79,50	4,25	81,63	0,038	55,88	0,59	0,365	1,6	4197
871	26,50	85,70	2,84	87,12	0,038	60,62	0,70	0,267	0,6	4202

$$n_0 = 0,834$$

$$a1 = -0,690$$

$$a2 = -0,187$$

$$n = 0,834 - 0,690 T^* - 0,187 T^{*2}$$



ΠΙΝΑΚΑΣ 6

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ: M – 12p /2G

ΕΜΒΑΔΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ: 2,472 m²

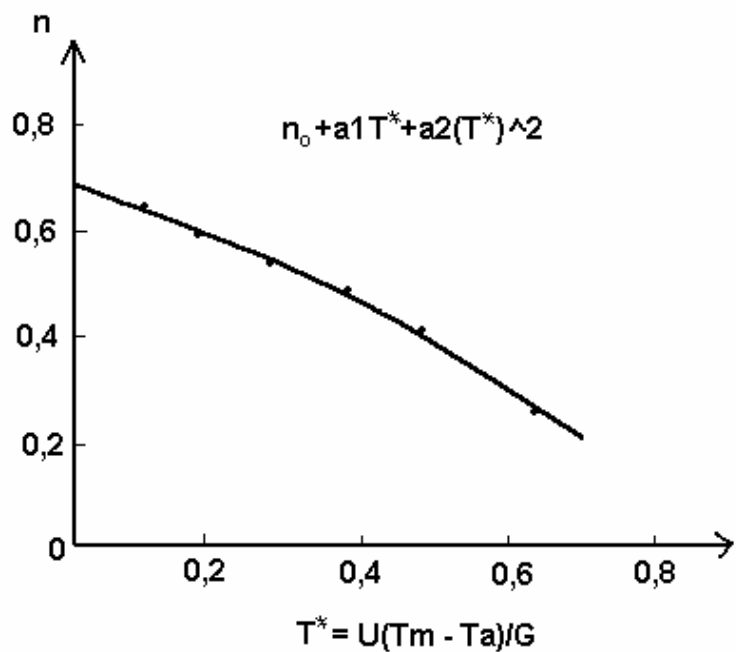
G_m=863,3 W/m²

C_p=4184,3 J/KgK

G W/m ²	T _α °C	T _ι °C	ΔT °C	T _m °C	\dot{m}_f Kg/sec	T _m -T _α °C	T*	n	V _w m/s	C _p Kj/KgK
840	27,60	30,40	6,39	33,60	0,050	6,00	0,07	0,644	1,0	4177
874	28,50	39,40	6,24	42,52	0,050	14,02	0,16	0,604	0,9	4178
869	28,33	50,20	5,38	52,89	0,049	24,56	0,28	0,513	0,5	4181
867	28,17	59,00	4,84	61,42	0,049	33,25	0,38	0,463	0,7	4184
888	29,17	67,77	4,36	71,95	0,049	42,78	0,48	0,407	0,5	4190
902	30,17	79,60	3,76	81,48	0,049	51,31	0,57	0,346	0,7	4197
838	30,17	87,00	2,57	88,29	0,048	58,12	0,69	0,249	0,7	4202

n₀ = 0,682
a1 = -0,504
a2 = -0,164

n = 0,682 - 0,504T* - 0,164T*²



ΠΙΝΑΚΑΣ 7

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ: F – 12p /2G
 ΕΜΒΑΔΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ: 2,472 m²

G_m=868,3 W/m²
 C_p=4184,4 J/KgK

G W/m ²	T _α °C	T _ι °C	ΔT °C	T _m °C	\dot{m}_f Kg/sec	T _m -T _α °C	T*	n	V _w m/s	C _p Kj/KgK
840	27,60	30,40	7,12	33,96	0,050	6,36	0,08	0,717	1,0	4177
874	28,50	39,30	6,95	42,78	0,050	14,28	0,16	0,673	0,9	4178
869	28,33	50,10	6,15	53,18	0,049	24,85	0,29	0,587	0,5	4181
867	28,17	59,45	5,50	62,20	0,049	34,03	0,39	0,526	0,7	4184
888	29,17	69,57	5,00	72,07	0,049	42,90	0,48	0,467	0,5	4190
902	30,17	79,30	4,36	81,48	0,049	51,31	0,57	0,401	0,7	4197
838	30,17	86,60	3,11	88,16	0,048	57,99	0,69	0,302	0,7	4203

n₀ = 0,757
 a1 = -0,503
 a2 = -0,220

$$n = 0,757 - 0,503 T^* - 0,220 T^{*2}$$

