

# ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

*" ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ  
ΣΥΛΛΕΚΤΗ "*

**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: Κος. ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ**

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

**Κος. ΜΠΑΡΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ  
ΤΑΚΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**



ΑΡΙΘΜΟΣ  
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

3640

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Συλλογή ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε θερμική
- 1.2 Εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών
- 1.3 Πολιτικές αποφάσεις και μέτρα για την διάδοση των ηλιακών συστημάτων
- 1.4 Βελτιστοποίηση της απόδοσης επίπεδων συλλεκτών

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

- 2.1 Κυριότερα είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών
- 2.2 Ταξινόμηση Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
- 2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
- 2.4 Σύγκριση Επίπεδων και Συγκεντρωτικών Συλλεκτών.
- 2.5 Πεδίο εφαρμογής των συγκεντρωτικών συλλεκτών.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

- 3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά
- 3.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
- 3.3 **ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ**
  - 3.3.1 Περιγραφή
  - 3.3.2 Χαρακτηριστικές Αστρονομικές Παράμετροι
  - 3.3.3 Τρόποι Προσανατολισμού και Παρακολούθησης του Ηλίου
  - 3.3.4 Ανάλυση απόδοσης κυλινδρικού παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη
  - 3.3.5 Σχέση Μεταξύ Ολικού Συντελεστή Απωλειών και Μεταφοράς Θερμότητας
  - 3.3.6 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας μεταξύ του Απορροφητή και της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης
  - 3.3.7 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην Εξωτερική Επιφάνεια της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης
  - 3.3.8 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του Απορροφητή
  - 3.3.9 Εμπειρική εξίσωση για τον Ολικό Συντελεστή Απωλειών
  - 3.3.10 Επίδραση της Εσωτερικής Θερμοκρασίας στο Βαθμό Απόδοσης
  - 3.3.11 Επίδραση της Παροχής Μάζας στην Απόδοση του Συλλέκτη.
  - 3.3.12 Επίδραση του Συντελεστή Εκπομπής  $\epsilon$  της Επιλεκτικής Επιφάνειας του Απορροφητή και του Κενού ανάμεσα στον Απορροφητή και στην Γυάλινη Κάλυψη, στο Βαθμό Απόδοσης

### 3.3.13 Επίδραση του Λόγου Συγκέντρωσης C στην Απόδοση.

#### ❖ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

#### ❖ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

#### ❖ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- ✓ Γεωμετρική Ανάλυση
- ✓ Σύνταξη προγράμματος προσομοίωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε παραβολικό συλλέκτη

#### ❖ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

- ✓ Στοιχεία κατασκευής παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη
- ✓ Κατασκευαστικά σχέδια
- ✓ Κατασκευαστικά στοιχεία
- ✓ Υπολογισμός του λόγου συγκέντρωσης
- ✓ Υπολογισμός του ολικού συντελεστή απωλειών

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

*Σε αυτό το μέρος γίνεται μια περιληπτική αναφορά γύρω από τα είδη των ηλιακών συλλεκτών καθώς επίσης και η χρήση τους σε εφαρμογές για την εξοικονόμηση πολύτιμης ενέργειας. Εδώ θα βρούμε χρήσιμα σχήματα για κάθε περίπτωση έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η χρήση και η εφαρμογή των ηλιακών συλλεκτών.*

- Κεφάλαιο 1.1** Συλλογή ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε θερμική
- Κεφάλαιο 1.2** Εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών
- Κεφάλαιο 1.3** Πολιτικές αποφάσεις και μέτρα για την διάδοση των ηλιακών συστημάτων
- Κεφάλαιο 1.4** Βελτιστοποίηση της απόδοσης επίπεδων συλλεκτών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

*Ο άνθρωπος, έχει ανάγκη και χρησιμοποιεί ενέργεια με αυξανόμενο ρυθμό για την διαβίωση και την συντήρηση του από την εποχή που εμφανίστηκε στη γη. [7]*

Μέχρι το 1780, οι κυριότερες πηγές ενέργειας που εκμεταλλεύονταν ο άνθρωπος ήταν το ξύλο, ο άνεμος και το νερό. Λίγο αργότερα, ανακαλύπτεται ο γοιάνθρακας ανατρέποντας τα παλιά δεδομένα. Το πετρέλαιο αποκτά ενδιαφέρον το 1920 με την διάδοση των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια πρωτοχρησιμοποιείται το 1890 και ακολουθεί η εξέλιξη του ηλεκτρισμού. Η πιο πρόσφατη πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική με την λειτουργία του πρώτου αντιδραστήρα το 1956.

Οι ενεργειακές πηγές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες (Πίνακας 1.1):

- α) Οι πηγές που η εκμετάλλευσή τους συνδέεται με τον περιορισμένο αριθμό αποθεμάτων.
- β) Οι μόνιμα διαθέσιμες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

**Πίνακας 1.1**

Κατηγορία	Ενεργειακή πηγή	Ανανεώσιμη (R) / Μη ανανεώσιμη (NR)
Πολύ μεγάλη	Πυρηνική τήξη	NR
Μεγάλη	Ηλιακή ενέργεια - Έμμεση	R
	Πετρέλαιο	NR
Μικρή	Ηλιακή ενέργεια - Άμεση	R
	Ενέργεια κυμάτων	R
	Γεωθερμική ενέργεια	NR

Λέγοντας ‘πολύ μεγάλη’, εννοούμε την πηγή που έχει την δυνατότητα να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις για εκατοντάδες χρόνια.

Με τον όρο ‘μεγάλη’ εννοείται η πηγή που είναι ικανή να καλύψει τις απαιτήσεις σε συνεχή βάση, αν είναι ανανεώσιμη και τις απαιτήσεις για μια χρονική έκταση των πενήντα έως εκατό ετών, αν είναι μη ανανεώσιμη. Έμμεση ηλιακή ενέργεια, είναι η αιολική, οι υδατοπτώσεις και η βιομάζα.

‘Μικρή’ πηγή είναι αυτή που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε ορισμένες περιοχές σε συνεχή βάση (ανανεώσιμη), ή για ένα διάστημα πενήντα ετών (μη ανανεώσιμη). [7]

Όπως βλέπουμε, σπουδαίο ρόλο μπορεί να παίξει η ηλιακή ενέργεια όπου πέρα από την απ’ ευθείας εκμετάλλευσή της, μπορούν να αξιοποιηθούν τεχνικά και μια σειρά άλλων συμβάντων που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο όπως η ενέργεια του ανέμου, της βιομάζας των κυμάτων η των υδατοπτώσεων καθώς και της γεωθερμίας.

Είναι λοιπόν φανερό ότι η αξιοποίηση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας έχει μεγάλη σημασία τόσο για το περιβάλλον όσο και για την εξασφάλιση ενέργειας στο μέλλον. [1]

Ο ήλιος, είναι μια μεγάλη και αστείρευτη πηγή ενέργειας. Η ακτινοβολία που φτάνει στη γη από τον ήλιο ανέρχεται περίπου στα  $1,8 \times 10^{15}$  W, ένα πόσο που είναι χιλιάδες

Η ηλιακή ενέργεια, μπορεί να καλύψει τις παρούσες και μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες σε συνεχή βάση. Αφ' ενός, η ενέργεια αυτή είναι δωρεάν και διατίθεται σε επαρκείς ποσότητες, αφ' ετέρου όμως η χρήση της συνεπάγεται και πολλά προβλήματα.

Ένα από αυτά είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία στις θερμότερες περιοχές του πλανήτη ανέρχεται σε  $1368 \text{ W/m}^2$ . Αυτό το ποσό θεωρείται μικρό από την σκοπιά της τεχνολογίας.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι πως η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας, ποικίλει ως προς τον χρόνο. [7]

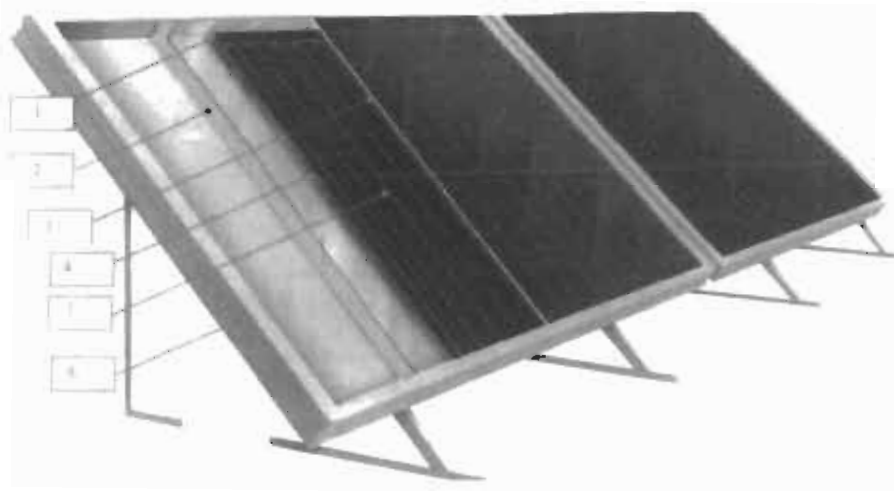
### 1.1 Συλλογή ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε θερμική

Για να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια πρέπει πρώτα να συλλεχθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ηλιοσυλλέκτη, που ο ρόλος του είναι να μετατρέψει την ηλιακή ακτινοβολία σε χρήσιμη θερμότητα.

Επομένως, ο ηλιακός συλλέκτης είναι το κλειδί προκειμένου να αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια.

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης είναι η συσκευή που επινοήθηκε από τον άνθρωπο για το λόγο αυτό. Είναι η πιο κοινή διάταξη συλλέκτη που χρησιμοποιήθηκε για θέρμανση νερού σε κατοικίες.

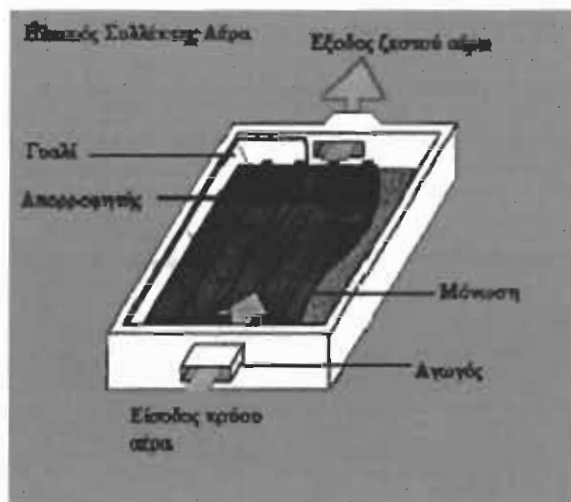
Σήμερα, ο επίπεδος συλλέκτης (Σχήμα 1.1) είναι ο πιο σημαντικός τύπος ηλιακού συλλέκτη γιατί είναι απλός στο σχεδιασμό, δεν αποτελείται από κινούμενα τμήματα και δεν χρειάζεται συντήρηση. Αποτελείται από μια απορροφητική επιφάνεια με απορροφητικότητα  $a = 85 \div 90 \%$  και συντελεστή εκπομπής  $\epsilon = 12 \div 92 \%$  στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία αφού περάσει από ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα. Η απορροφημένη αυτή ενέργεια μεταφέρεται στο ρευστό νερό (ή αέρας Σχήμα 1.2) που ρέει μέσα από τους σωλήνες που βρίσκονται στερεωμένοι στην απορροφητική επιφάνεια. Οι συλλέκτες αυτοί μπορούν να ανεβάσουν την θερμοκρασία του νερού ως και  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  με απόδοση περίπου 0.45. [7] Για την μείωση των θερμικών απωλειών, χρησιμοποιείται οπίσθια και πλευρική μόνωση όπως στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα. 1.1: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. [9]

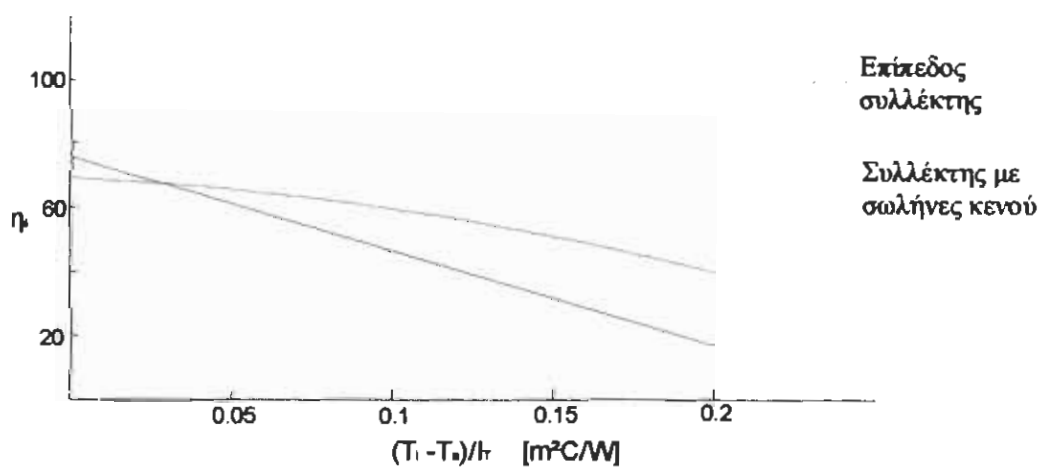
1. Κύκλωμα αγωγών.
2. Οπίσθια και πλευρική μόνωση.
3. Διαφανές κάλυμμα.
4. Απορροφητική επιφάνεια.
5. Επιλεκτικό χρώμα μεγάλης απορροφητικότητας.
6. Μεταλλικό πλαίσιο συλλέκτη.



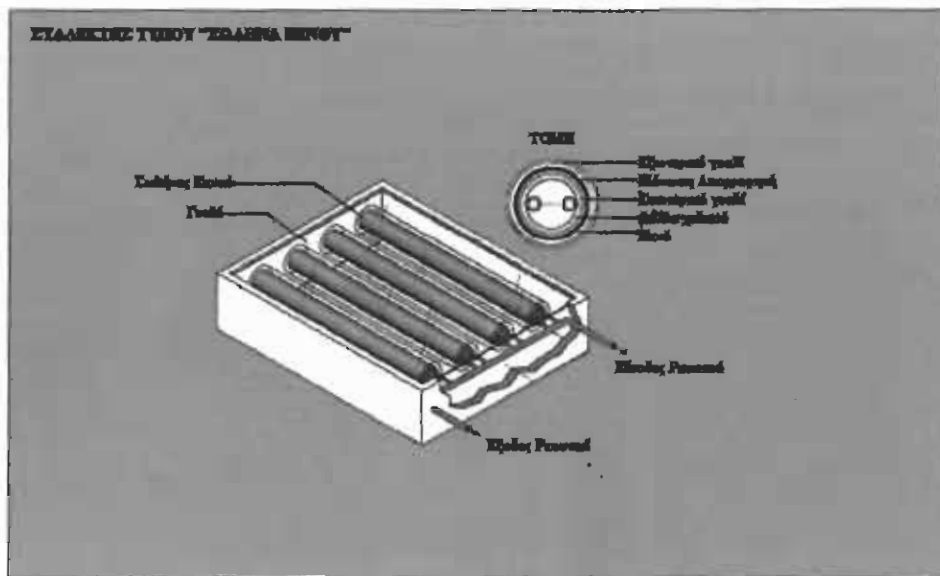


Σχήμα. 1.2: Επίπεδος συλλέκτης αέρα [13]

Εκτός από τους επίπεδους συλλέκτες νερού και αέρα, υπάρχει και η κατηγορία των συλλεκτών κενού (Σχήμα 1.3). Η απόδοση αυτών των συλλεκτών μπορεί να είναι και διπλάσια από αυτή απλών, για  $(T_1 - T_a)/I_T = 0,2 \text{ [m}^2\text{C/W]}$ , όπως στο παρακάτω διάγραμμα. Σε ένα τέτοιο συλλέκτη, οι σωλήνες που περιβάλλονται από γυάλινο εκκενωμένο σωλήνα διαμέτρου 5 – 10 cm, καλύπτονται με επιλεκτικό υλικό και λειτουργούν ως απορροφητική επιφάνεια. Το ρευστό που διέρχεται μέσα από τους σωλήνες αυτούς αποκτά θερμότητα. Με την μέθοδο της εκκένωσης του γυάλινου σωλήνα, ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Τα συστήματα αυτά, έχουν υψηλότερο κόστος και είναι καταλληλότερα για βιομηχανικές εφαρμογές μιας και αναπτύσσουν θερμοκρασίες από 75 – 170 °C. [7]



Καμπύλες Απόδοσης για Απλούς Συλλέκτες και Συλλέκτες σωλήνα κενού.



Σχήμα. 1.3: Επίπεδος συλλέκτης κενού. [13]

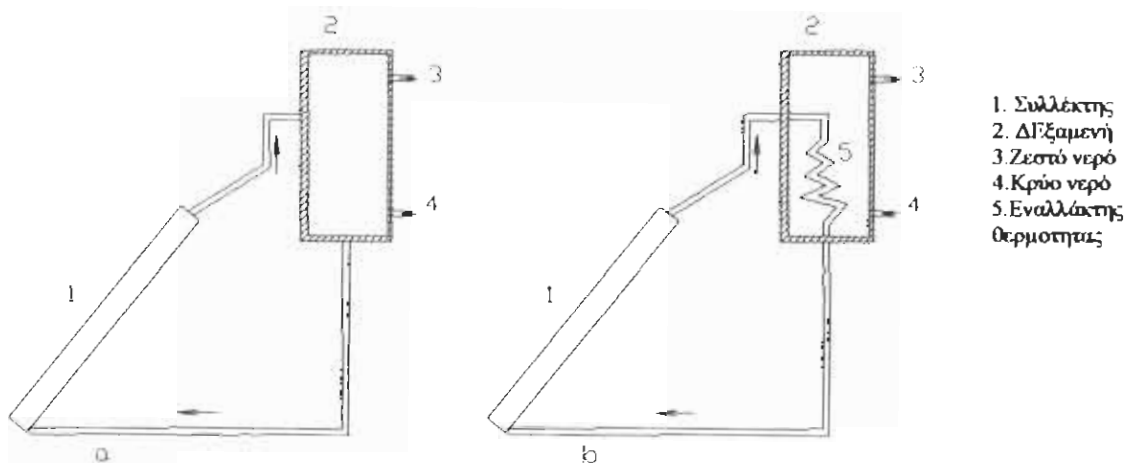
## 1.2 Εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών

Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πολλές εφαρμογές. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- ✓ Θέρμανση νερού
- ✓ Θέρμανση χώρων
- ✓ Ψύξη χώρων
- ✓ Αποξήρανση γεωργικών προϊόντων
- ✓ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Απόσταξη νερού

### Θέρμανση νερού

Είναι η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή ηλιακών συλλεκτών παγκοσμίως. Η θερμική ενέργεια της ακτινοβολίας μεταφέρεται στο νερό ρέει στους σωλήνες του συλλέκτη. Με ένα δίκτυο το νερό, αφού θερμανθεί στο συλλέκτη, οδηγείται σε δεξαμενή αποθήκευσης και είτε μέσω εναλλάκτη εναποθέτει θερμότητα σε μια μεγαλύτερη ποσότητα νερού, είτε οδηγείται κατ' ευθείαν προς χρήση. [3]. Στο επόμενο σχήμα, βλέπουμε την διαδικασία θέρμανσης νερού.



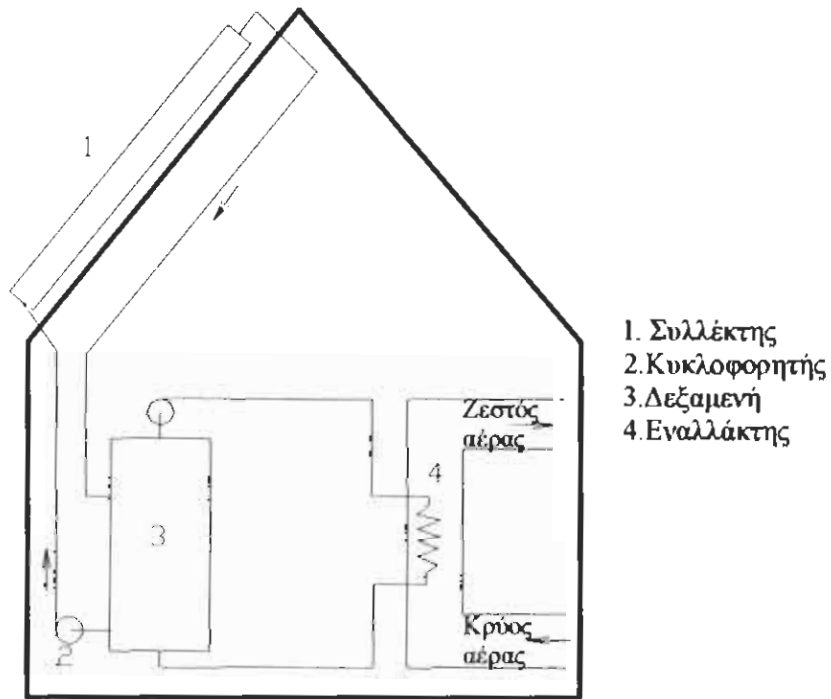
Σχήμα 1.4: Θερμοσιφωνικό σύστημα για θέρμανση νερού. [3]

- α) Για απ ευθείας χρήση,  
β) Για θέρμανση μεγαλύτερης ποσότητας νερού.

### Θέρμανση χώρων

Στην εφαρμογή αυτή, το νερό θερμαίνεται στον συλλέκτη και μεταφέρεται σε δεξαμενή. Μέσω δεύτερου κυκλώματος, η θερμότητα μεταφέρεται σε εναλλάκτη νερού – αέρα με αποτέλεσμα την θέρμανση αέρα κατάλληλο για θέρμανση χώρων. Η επιφάνεια των συλλεκτών εξαρτάται από την ετήσια κάλυψη του φορτίου και από την ημερήσια κατανάλωση νερού. Ο εναλλάκτης θερμότητας εξαρτάται και αυτός από την ετήσια κάλυψη. Για απλούς συλλέκτες, χρησιμοποιούνται εναλλάκτες με βαθμό εκμετάλλευσης 60%. [3]

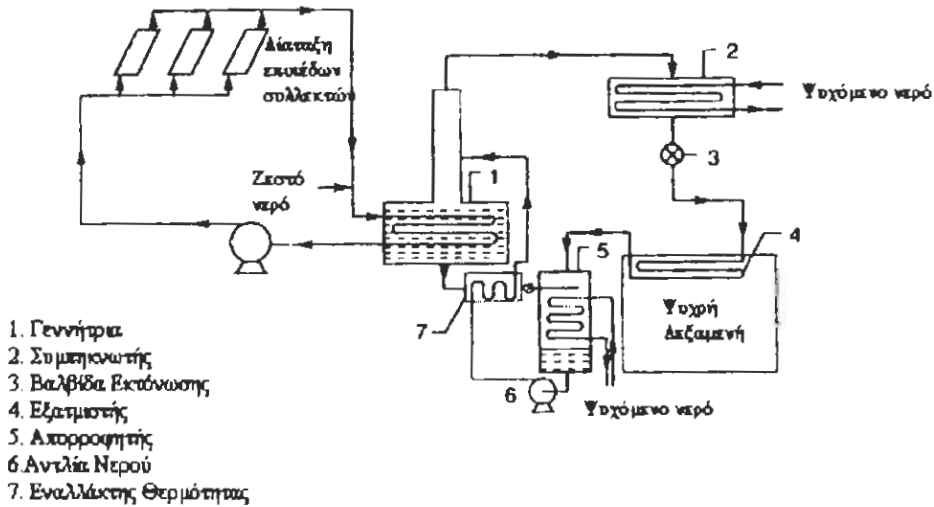
Η διαδικασία θέρμανσης χώρων, περιγράφεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 1.5: Σύστημα θέρμανσης χώρου με επίπεδο συλλέκτη. [7]

### Ψύξη χώρων

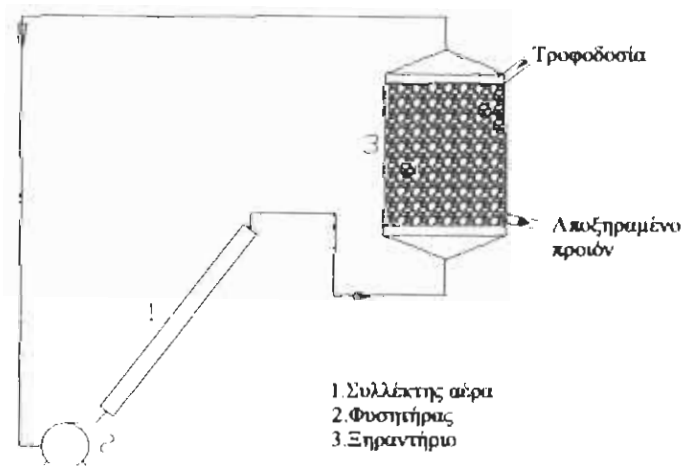
Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή των ηλιακών συλλεκτών είναι η επίτευξη ψύξης με ηλιακή ενέργεια. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, το νερό θερμαίνεται στον συλλέκτη, και με τη βοήθεια εναλλάκτη αυξάνει την πίεση στο ψυκτικό ρευστό του δεύτερου κυκλώματος. Το ψυκτικό ρευστό, το οποίο μπορεί να είναι αμμωνία, προπάνιο ή R 22 εκτονώνεται από μια εκτονωτική βαλβίδα και εισέρχεται στον εξατμιστή. Έτσι απορροφά θερμότητα από τον χώρο επιτυγχάνοντας ψύξη. [7]



Σχήμα 1.6: Ηλιακό σύστημα για ψύξη χώρου. [7]

### Αποξήρανση προϊόντων

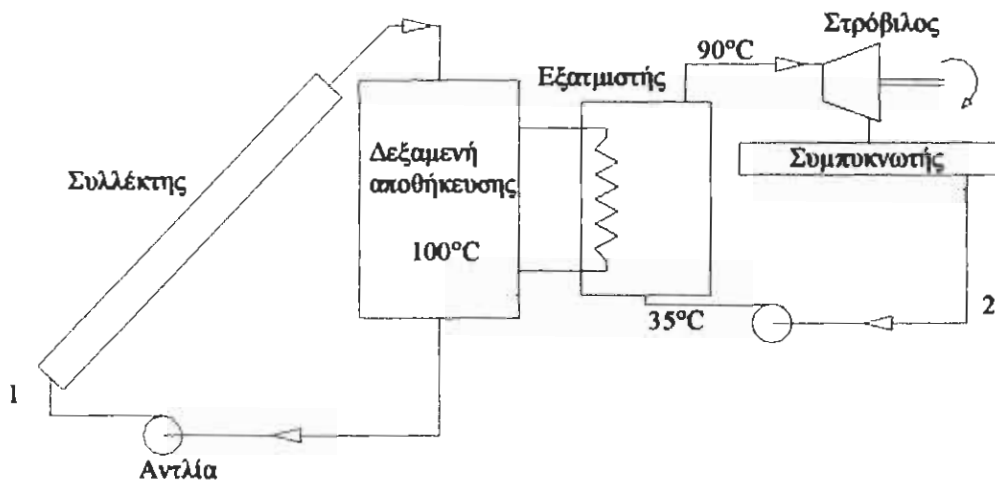
Με την χρήση συλλεκτών αέρα, και με την διάταξη του σχήματος (1.5) επιτυγχάνεται αποξήρανση γεωργικών κυρίως προϊόντων.



Σχήμα 1.7: Διάταξη αποξήρανσης με ηλιακή ενέργεια. [7]

### Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Για την παραγωγή ηλεκτρισμού εφαρμόζεται κυρίως μια άλλη κατηγορία συλλεκτών, των συγκεντρωτικών, που θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, για παραγωγή ηλεκτρισμού μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται και επίπεδοι συλλέκτες. Όπως και στο σχήμα 1.8, στο κύκλωμα 1 κυκλοφορεί νερό που αποθηκεύεται στη δεξαμενή, όπου με τη βοήθεια εναλλάκτη εναποθέτει θερμότητα στο ρευστό του εξατμιστή (R 11 ή R 113) με αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασία του και κατ' επέκταση την ατμοποίηση του. Κατόπιν οδηγείται σε αμοστρόβιλο που θέτει σε κίνηση ηλεκτρογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρισμό. [7]



Σχήμα 1.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [7]

### Απόσταξη νερού.

Το νερό που θερμαίνεται στο συλλέκτη, θερμαίνει μια ποσότητα αλμυρού νερού που βρίσκεται σε ανοιχτό δοχείο και το εξατμίζει. Ο ατμός του συμπυκνώνεται, συγκεντρώνεται και συλλέγεται ως καθαρό νερό για χρήση. [7]



Σχήμα 1.9: Απόσταξη νερού [13]

### 1.3 Πολιτικές αποφάσεις και μέτρα για την διάδοση των ηλιακών συστημάτων

Όπως βλέπουμε μέχρι τώρα, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται ευρύτατα. Για το λόγο αυτό η πολιτεία επιδίωξε και επιδιώκει την διάδοση των συστημάτων αυτών. Παρακάτω θα δούμε τις ενέργειες αυτές σύμφωνα με παλαιότερη νομοθεσία έτσι ώστε να διαδοθούν οι εγκαταστάσεις ηλιακών συστημάτων στη χώρα μας. [1, 13]

1. Με βάση το Ν. 814 / 78 δόθηκε στους ιδιώτες που εγκαθιστούν ηλιακούς θερμοσίφωνες το κίνητρο φορολογικής απαλλαγής μέχρι ενός ορισμένου ποσού. Το κίνητρο όμως αυτό εινοεί περισσότερο όμως τα μεγάλα φορολογητέα εισοδήματα και δεν έχει καθόλου ισχύ σαν κίνητρο για εγκατάσταση ηλιακών θερμοσιφώνων σε σπίτια και αγροτικές περιοχές.
2. Με βάση την υπ' αριθμό 259 / 4 / 10 – 1 – 80 απόφαση της Νομισματικής Επιτροπής (Ν.Ε), χορηγούν οι Εμπορικές Τράπεζες δάνειο στους ιδιώτες που εγκαθιστούν ηλιακό θερμοσίφωνα.
3. Επίσης με βάση την απόφαση Ν.Ε 356 / 6 – 3 -80 χορηγείται στις ξενοδοχειακές επιχειρήσεις δάνειο για την κάλυψη μέχρι και του 70 % της συνολικής δαπάνης εγκατάστασης. Για την εξόφληση του ισχύει το εκάστοτε επιτόκιο και η διάρκεια δανείου είναι πέντε χρόνια. Υπάρχει επίσης η απόφαση Ν.Ε 95 / 75 η οποία επιτρέπει τη δανειοδότηση των ξενοδοχείων και άλλων τουριστικών επιχειρήσεων που θα προβαίνουν σε εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων, μονώσεων και άλλων συστημάτων που εξοικονομούν ενέργεια.
4. Εξάλλου με την 634 / 22 / 16 . 7 .81 απόφαση της υποεπιτροπής Δανείων και Συναλλάγματος εγκρίθηκε η χορήγηση, από τις εμπορικές τράπεζες, δανείων σε ενδιαφερόμενους για την εγκατάσταση κεντρικών ηλιακών συστημάτων παραγωγής θερμού νερού ή θέρμανσης χώρων. Το δάνειο καλύπτει το 70 % της απαιτούμενης συνολικής δαπάνης αγοράς και εγκατάστασης των ηλιακών αυτών συστημάτων.
5. Οι βιομηχανικές και ξενοδοχειακές επιχειρήσεις, που έχουν ήδη ενταχθεί στο Ν. 849 / 78 και εκείνων που εντάσσονται στο νέο ευεργετικό Ν. 1116 / 81 για δανειακές ενισχύσεις, επιχορηγούνται ανεξάρτητα από την περιοχή που θα εγκατασταθούν με ποσοστό μέχρι και 40 % της δαπάνης της επένδυσης (ή στην περίπτωση ξενοδοχειακών επιχειρήσεων με ανώτερο ποσό των 10 εκατ. δρχ), όταν οι επενδύσεις τους αποσκοπούν σε σημαντική εξοικονόμηση συμβατικών πηγών ενέργειας με τη χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξ' άλλου τα επιχορηγούμενα σε κάθε περίπτωση ποσά αφαιρούνται από το φορολογητέο εισόδημα των επιχειρήσεων.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, ισχύουν τα εξής:

Σύμφωνα με το εκτελεστικό π.δ/γμα λουπόν, από το άρθρο 6 του ν. 1512/85 (σχετικά με "Κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας") όπου εξειδικεύονται μέτρα και επεμβάσεις, περιγράφονται τεχνικές και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Πρόκειται να εξειδικευτούν τα κατάλληλα, ανά περίπτωση, θεσμικά, οικονομικά και διοικητικά κίνητρα των οποίων θα τυγχάνουν οι έχοντες την κυριότητα ή τη νομή ακινήτων που θα εφαρμόζουν επεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στα υφιστάμενα κτίρια τους, με στόχο την μεγαλύτερη δυνατή διείσδυση των προτεινόμενων μέτρων.

Ειδικότερα με το προαναφερόμενο π.δ. προωθείται η κατάλληλη πολιτική κινήτρων για τη διευκόλυνση της διείσδυσης των μέτρων πολιτικής του ΥΠΕΧΩΔΕ για εξοικονόμηση ενέργειας. Πέραν των ευνοϊκών διατάξεων που ήδη έχουν εισαχθεί στη νομοθεσία μας (όπως έκπτωση κατά 75% από το φορολογητέο εισόδημα για τα έξοδα αγοράς και εγκατάστασης συστημάτων Φ.Α. και ΑΠΕ, του Υπουργείου Οικονομικών) έχει εκτιμηθεί ότι είναι αναγκαία η χρήση επιπρόσθετων κινήτρων, μέσω:

- Ειδικών Δανειών Ενεργειακής Απόδοσης (ΔΕΑ) για την πραγματοποίηση συνολικών επεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε υφιστάμενα κτίρια του ιδιωτικού τομέα,
- Φοροαπαλλαγών, ή δανειοδοτήσεων με χαμηλότερα επιτόκια, επιδοτήσεων, κ.α. για την αγορά και εγκατάσταση υλικών και συστημάτων που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- Διακρίσεων - βραβείων για μελετητές ή ιδιοκτήτες ακινήτων για επιτυχείς επεμβάσεις βελτίωσης ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων, ή για επιτυχείς Βιοκλιματικές Μελέτες Κτιρίων και Πολεοδομικών συνόλων,
- Δωρεάν παροχή συμβουλών σε πολίτες, φορείς, ή Ο.Τ.Α. σχετικά με ενημέρωση για τους στόχους, τις προτεραιότητες, τα παρεχόμενα οικονομικά κίνητρα, τις τεχνικές Ε.Ε. και Ο.Χ.Ε., τεχνικές λύσεις, κ.α. που θα δίνονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και κυρίως από το ΚΑΠΕ και τα περιφερειακά ενεργειακά κέντρα που έχουν συσταθεί στα πλαίσια του Ν 2244/94.

Παράλληλα προωθούνται και θεσμικά κίνητρα μέσω του νέου Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΟΚ), όπου έχουν ενσωματωθεί ρυθμίσεις με στόχο αφενός την άρση των υφισταμένων θεσμικών εμποδίων για εφαρμογή τεχνικών και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφετέρου την βιοκλιματική αρχιτεκτονική και την εφαρμογή μέτρων Ε.Ε στα κελύφη κτιρίων.



Ενδεικτικά αναφέρουμε,

- Οικονομικά κίνητρα, όπως φοροαπαλλαγές, δανειοδοτήσεις με χαμηλότερα επιτόκια, επιδοτήσεις κ.α. προτείνονται κατά προτεραιότητα για τον οικιακό τομέα με έμφαση στα προ του 1979 υφιστάμενα κτίρια όπου δεν είχε ισχύ ο Κανονισμός Θερμομόνωσης.
- ΑΛΛΑ ΚΙΝΗΤΡΑ αφορούν σε ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ - ΒΡΑΒΕΙΑ σε μελετητές ή ιδιοκτήτες για επιτυχείς επεμβάσεις βελτίωσης ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων, ή για επιτυχείς Βιοκλιματικές Μελέτες Κτιρίων και Πολεοδομικών συνόλων.
- ΔΩΡΕΑΝ παροχή ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ για πολίτες, φορείς, Ο.Τ.Α. ενημέρωση για τους στόχους, τις προτεραιότητες, τα παρεχόμενα οικονομικά κίνητρα, τις τεχνικές Ε.Ε. και Ο.Χ.Ε., τεχνικές λύσεις, κ.α. από τα ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΕΝΤΡΑ που έχουν συσταθεί στα πλαίσια του Ν 2244/94 του ΥΠ. ΑΝ.
- Εξειδικεύονται προτάσεις για εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών και συστημάτων σε παραδοσιακά κτίρια και πολεοδομικά σύνολα της χώρας με στόχο την μορφολογική τους ένταξη στην αρχιτεκτονική των κτιρίων,
- Προτείνονται μέτρα για τις διαφορετικές κατηγορίες στεγαστικών προγραμμάτων και για προγράμματα ανάπτυξης πυκνοδομημένων περιοχών, κ. ά.

Για επενδύσεις ή και προγράμματα χρηματοδοτικής μίσθωσης εξοπλισμού για παραγωγή ηλεκτρισμού από ήπιες μορφές ενέργειας και ειδικότερα από την αιολική, την ηλιακή, την υδροηλεκτρική και τη γεωθερμική, που πραγματοποιούνται από τις επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας έχουμε,

- Επιχορήγηση 40%
- Επιδότηση τόκων 40%
- Επιδότηση χρηματοδοτικής μίσθωσης 40%

ή εναλλακτικά

- Φορολογική απαλλαγή 100%
- Επιδότηση τόκων 40%

Για επιχειρήσεις που παράγουν ενέργεια, σε μορφή θερμού νερού, ατμού ή παράγουν στερεά καύσιμα από βιομάζα, επιχειρήσεις συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ή επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού από ήπιες μορφές ενέργειας και ειδικότερα την αιολική, την ηλιακή, την υδροηλεκτρική, τη γεωθερμική και τη βιομάζα, επιχειρήσεις παραγωγής βιομάζας από φυτά, με σκοπό τη χρήση της ως πρώτης ύλης για την παραγωγή ενέργειας δίνονται,

### Ενισχυόμενες δαπάνες

- Η κατασκευή, η επέκταση, ο εκσυγχρονισμός βιομηχανοστασίων, κτιριακών ειδικών και βοηθητικών εγκαταστάσεων, καθώς και οι δαπάνες διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου.
- Η αγορά και εγκατάσταση καινούργιων σύγχρονων μηχανημάτων και λοιπού εξοπλισμού. Τα μισθώματα της χρηματοδοτικής μίσθωσης καινούργιων σύγχρονων μηχανημάτων και λοιπού εξοπλισμού του οποίου αποκτάται η χρήση.
- Η αγορά και εγκατάσταση καινούργιων σύγχρονων συστημάτων αυτοματοποίησης διαδικασιών και μηχανοργάνωσης, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών αγοράς του αναγκαίου λογισμικού και των δαπανών εκπαίδευσης του προσωπικού στο στάδιο εγκατάστασής του.
- Οι δαπάνες μελετών που αποσκοπούν στην εισαγωγή, ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονης τεχνολογίας, τεχνογνωσίας και σύγχρονων μεθόδων.
- Οι δαπάνες για ίδρυση, επέκταση και εκσυγχρονισμό εργαστηρίων εφαρμοσμένης ενεργειακής έρευνας.
- Η αγορά καινούργιων μεταφορικών μέσων διακίνησης υλικών και προϊόντων, εντός του ευρύτερου εργοστασιακού χώρου. Η αγορά καινούργιων μεταφορικών μέσων μαζικής μεταφοράς προσωπικού. Η αγορά και εγκατάσταση καινούργιου σύγχρονου εξοπλισμού και η κατασκευή εγκαταστάσεων για τη διακίνηση υλικών και προϊόντων.
- Η κατασκευή νέων εργατικών κατοικιών, βρεφονηπιακών σταθμών, κτιρίων ή εγκαταστάσεων, καθώς και η αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού, για τη στέγαση, την αναψυχή ή τη συνεστίαση των εργαζομένων της επιχείρησης, εφόσον αυτά γίνονται στην περιοχή που είναι εγκατεστημένη η επιχείρηση.
- Οι δαπάνες επενδύσεων προστασίας του περιβάλλοντος, περιορισμού της ρύπανσης του εδάφους, του υπεδάφους, των υδάτων και της ατμόσφαιρας, αποκατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος και ανακύκλωσης του ύδατος.
- Οι δαπάνες κατασκευής του βασικού δικτύου μεταφοράς του θερμού νερού ή ατμού μέχρι τον καταναλωτή, προκειμένου μόνο για τις επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας σε μορφή θερμού νερού ή ατμού.
- Οι δαπάνες επενδύσεων για αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υποκατάστασης υγρών καυσίμων ή ηλεκτρικής ενέργειας με αέρια καύσιμα, επεξεργασμένα απορριπτόμενα υλικά από εγχώριες βιομηχανίες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας, καθώς και συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης οι δαπάνες επενδύσεων για εξοικονόμηση ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι η επένδυση δεν αφορά τον παραγωγικό εξοπλισμό αλλά τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις κίνησης- λειτουργίας της μονάδας και από αυτήν προκύπτει μείωση τουλάχιστον 10% της καταναλισκόμενης ενέργειας. [13]

#### 1.4 Βελτιστοποίηση της απόδοσης επίπεδων συλλεκτών

Η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας με την πάροδο του χρόνου, δεν θα άφηνε τα ηλιακά συστήματα ανεπηρέαστα. Με κατάλληλες μεθόδους προσομοίωσης, και άλλες ερευνητικές μεθόδους βελτιστοποιείται, όσο το δυνατό, η απόδοση των συστημάτων.

Κατά συνέπεια, με χρήση ειδικών υλικών σχεδιασμένων για μεγαλύτερη απόδοση και κατασκευασμένων με τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες (μαύρο νικέλιο, μαύρος χαλκός ή μαύρο χρώμιο) έχει βελτιωθεί η απορροφητικότητα  $\alpha$  των συλλεκτών από 0.9 σε 0.97. Η χρήση επίσης επιλεκτικών επιφανειών που καλύπτουν τον απορροφητή μειώνει τον συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  σε 0.12 από 0.92 αυξάνοντας την απόδοση του από περίπου 0.43 σε 0.45.

Οι επιλεκτικές επιφάνειες, έχουν την ιδιότητα να απορροφούν την ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος αλλά να εμποδίζουν την εκπομπή της προς το περιβάλλον. Στις επιφάνειες αυτές ο λόγος  $\alpha / \epsilon$  είναι μεγάλος (μικρό  $\epsilon$ ) και κυμαίνεται γύρω στη μονάδα.

Άλλη μια παρεμβολή στους συλλέκτες γίνεται στο διαφανές κάλυμμα και η καλύτερη λύση είναι η χρήση ενός ή περισσότερων υαλοπινάκων που έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα απ' ό,τι το πλαστικό υλικό το οποίο αλλοιώνεται με την πάροδο του χρόνου.

Επίσης η στεγανοποίηση και η μόνωση των συλλεκτών με σύγχρονα υλικά όπως η πολιουρεθάνη έχουν μειώσει κατά πολύ τις θερμικές απώλειες στο πίσω μέρος ενός συλλέκτη.

Τέλος, ο κυριότερος λόγος που συνέβαλε στην αύξηση τη απόδοσης τέτοιων συστημάτων, είναι η εφαρμογή ηλεκτρομηχανικών συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου από τη στιγμή της ανατολής ως την δύση του.

Τα τελευταία χρόνια όμως δόθηκε έμφαση στην επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών με ηλιακά συστήματα με την μέθοδο της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και την εστίαση της σε σημειακούς δέκτες. Τα ηλιακά αυτά συστήματα είναι γνωστά ως συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες. [5, 7, 9]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

*Προχωρώντας, στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιληπτική αναφορά στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, η ταξινόμησή τους για κάθε περίπτωση εφαρμογής τους και ανάλογα με τον τύπο του συλλέκτη<sup>1</sup> θα αναφερθούν τρόποι παρακολούθησης του ηλίου, θα περιγραφούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών σε σύγκριση με τους επίπεδους συλλέκτες και τέλος, αναζητείται το πεδίο εφαρμογών τους έτσι ώστε να σχηματίσουμε μια πρώτη εικόνα για την σπουδαιότητα των συστημάτων αυτών και πρακτικά στη ζωή μας. Όλα αυτά, συνοδεύονται με τα απαιτήματα, για κάθε περίπτωση, σχήματα.*

- Κεφάλαιο 2.1** Κυριότερα είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών
- Κεφάλαιο 2.2** Ταξινόμηση Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
- Κεφάλαιο 2.3** Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
- Κεφάλαιο 2.4** Σύγκριση Επίπεδων και Συγκεντρωτικών Συλλεκτών.
- Κεφάλαιο 2.5** Πεδίο εφαρμογής των συγκεντρωτικών συλλεκτών.

---

<sup>1</sup> Η ανάλυση των τρόπων παρακολούθησης του ηλίου περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3

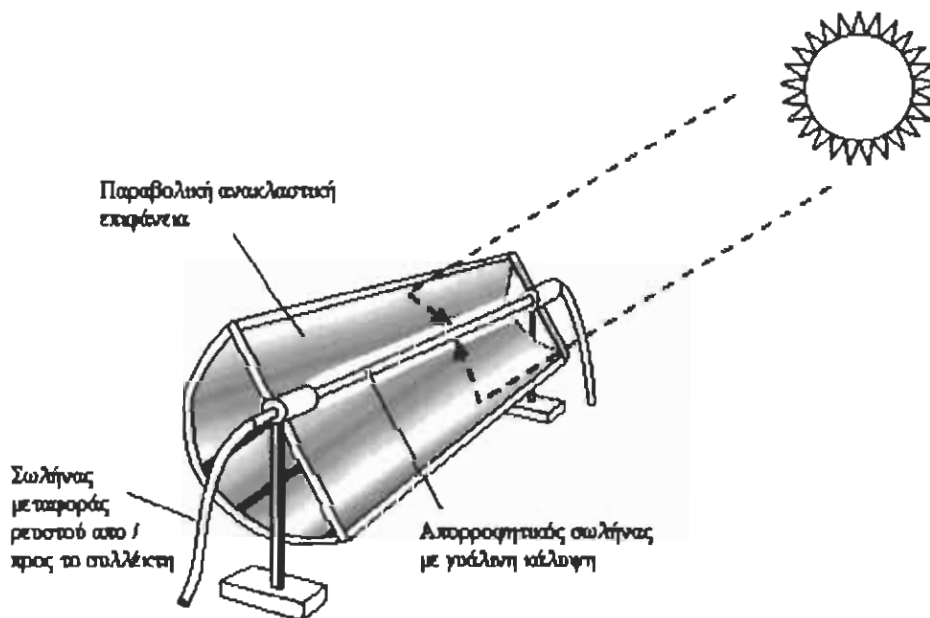
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

#### Εισαγωγή

Η ανάγκη για επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα ηλιακά συστήματα, οδήγησε στην κατασκευή των συγκεντρωτικών συλλεκτών. Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν με οπτικά μέσα την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια την απορροφούν και τη μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, αντί της απορροφητικής επιφάνειας που διαθέτει ο επίπεδος συλλέκτης έχουμε [4]:

- Το οπτικό σύστημα ή ανακλαστήρα, ή συγκεντρωτή που είναι μια ανακλαστική επιφάνεια η οποία δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, την ανακλά και την οδηγεί στον δέκτη.
- Το δέκτη ή απορροφητή που δέχεται και απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία και αποτελείται από την απορροφητική επιφάνεια (επίπεδη ή κυλινδρική) και την μονωτική κάλυψη.
- Το ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του ηλίου εάν υπάρχει.



Σχήμα 2.1: Τα βασικότερα μέρη ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη. [13]

## 2.1 Κυριότερα είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών

Οι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών που υπάρχουν αυτή τη στιγμή είναι πολλοί. Όπως θα δούμε και παρακάτω πιο αναλυτικά, χαρακτηρίζονται, α) από το άνοιγμα του συγκεντρωτή  $W$ , β) από το λόγο συγκέντρωσης  $C$  ( $C = \text{Επιφάνεια συγκεντρωτή} / \text{Επιφάνεια απορροφητή}$ ) και από την γωνία αποδοχής  $2\theta_c$ . Τα κυριότερα είδη που συναντάμε σε εφαρμογές είναι τα παρακάτω:

- Κυλινδρικός παραβολικός συλλέκτης.

Ο συλλέκτης αυτός, με την μεγάλη παραβολική ανακλαστική επιφάνεια που διαθέτει, ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν κυλινδρικό απορροφητή που τοποθετείται στον εστιακό άξονα της παραβολής. Ο απορροφητής, που περιβάλλεται από γυάλινο ομόκεντρο σωλήνα για μόνωση, έχει πολύ μακρότερη επιφάνεια από τον ανακλαστήρα και περιέχει το θερμικό ρευστό. Η αρχή λειτουργίας του αναλύεται παρακάτω. Στο επόμενο σχήμα, βλέπουμε ένα τέτοιο συλλέκτη<sup>2</sup>.

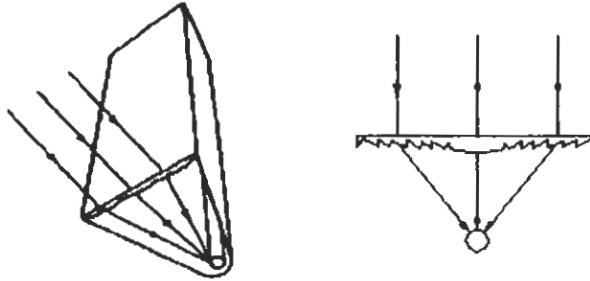


Σχήμα 2.2: Κυλινδρικός παραβολικός συλλέκτης [Εργ. ΗΜΕ]

<sup>2</sup> Οι κατασκευαστικές του λεπτομέρειες αναλύονται στο παράρτημα Β.

- Συγκεντρωτικοί με φακούς Fresnel

Οι συλλέκτες αυτοί, χρησιμοποιούν διαθλαστικούς φακούς. Το πάνω μέρος του φακού είναι επίπεδο ενώ το κάτω μέρος του αποτελείται από λεπτά διαμήκη αυλάκια. Οι γωνίες των αυλακιών αυτών προκαλούν την εστίαση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένο σημείο. Στο σημείο αυτό τοποθετείται ο δέκτης (κυλινδρικός αγωγός) που περιέχει το διερχόμενο θερμικό ρευστό.



Σχήμα 2.3: Συγκεντρωτικός διαθλαστικός συλλέκτης με φακούς Fresnel. [14]

- Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης CPC

Αποτελείται από δυο παραβολικές ανακλαστικές επιφάνειες που συγκεντρώνουν την ακτινοβολία σε έναν επίπεδο ή και κυλινδρικό δέκτη. [4]



Σχήμα. 2.4: Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης. [7]

- Συλλέκτης παραβολικού πιάτου

Στα συστήματα αυτά, το οπτικό σύστημα έχει σχήμα παραβολικού πιάτου και εστιάζουν την ακτινοβολία σε ένα δέκτη όπως στο σχήμα 2.5.



Σχήμα. 2.5: Συλλέκτης παραβολικού πιάτου. [13]

- Συστήματα κεντρικού δέκτη

Τα συστήματα αυτά, χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή. Αποτελούνται από τον δέκτη που είναι τοποθετημένος σε πύργο και από το οπτικό σύστημα που δεν είναι τίποτα άλλο από μερικές εκατοντάδες κάτοπτρα.



Σχήμα. 2.6: Εγκατάσταση κεντρικού δέκτη. [13]

Εκτός βέβαια από αυτά τα είδη συλλεκτών, υπάρχουν και άλλα που θα δούμε παρακάτω.



## 2.2 Ταξινόμηση Συγκεντρωτικών Συλλεκτών

Όπως είδαμε οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, είναι διάφορων τύπων και μπορούν να ταξινομηθούν κατά πολλούς τρόπους. Μπορεί να είναι ανακλαστικοί με κάτοπτρα ή διαθλαστικοί με φακούς. Οι ανακλαστικές επιφάνειες ενδέχεται να είναι παραβολικές, σφαιρικές ή επίπεδες. Οι ανακλαστικές επιφάνειες μπορεί επίσης, να είναι συνεχείς ή να αποτελούνται από επιμέρους κομμάτια. Ταξινόμηση γίνεται επίσης και από τον τρόπο του σχηματισμού της εικόνας ή και από το αν το οπτικό σύστημα, εστιάζει σε γραμμή ή σε σημείο.

Επίσης, ο λόγος συγκέντρωσης  $C$ , που θα δούμε παρακάτω, χρησιμοποιείται ως μέτρο κατάταξης για τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες.

Τέλος, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες κατηγοριοποιούνται και ως προς τις απαιτήσεις ρύθμισης παρακολούθησης του ήλιου. Έτσι λοιπόν η παρακολούθηση μπορεί να είναι περιστασιακή (μια ρύθμιση καθημερινά ή κάθε λίγες ημέρες) ή συνεχής (συνεχής ρύθμιση με αυτόματη διάταξη). [7]

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, μπορεί να έχουμε πληθώρα από διαφορετικούς τύπους συγκεντρωτικών συλλεκτών. Έτσι τους κατατάσσουμε ανάλογα:

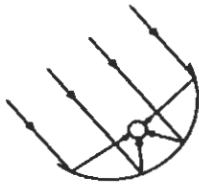
- Με το είδος του συγκεντρωτή.

- Ανακλαστικός

Στην περίπτωση αυτή ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι κάτοπτρο και να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία (σχήμα 2.7, α)

- Διαθλαστικός

Στην περίπτωση αυτή ο συγκεντρωτήρας είναι φακός κυκλικός ή επιμήκης κατασκευασμένος από ακρυλικό πλαστικό και διαθλά την ηλιακή ακτινοβολία (σχήμα 2.7, β)



α) Ανακλαστικός

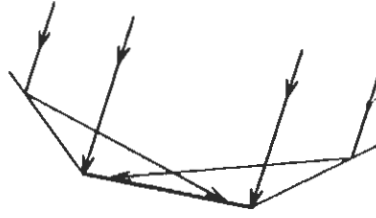


β) Διαθλαστικός

Σχήμα: 2.7 [4]

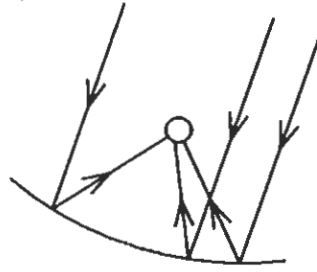
- Με τη διαμόρφωση του συγκεντρωτή έχουμε:

- Επίπεδος (Σχήμα 2.8)



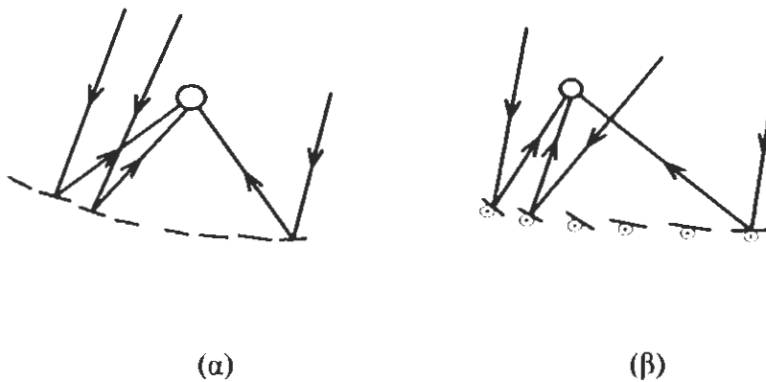
Σχήμα. 2.8: Συγκενρωτικός συλλέκτης με επίπεδους ανακλαστήρες. [4]

- Παραβολικός (Σχήμα 2.9)



Σχήμα. 2.9: Παραβολικός συλλέκτης [4]

- Να αποτελούνται από σειρές ακίνητων επιπέδων, είτε με ακίνητο, είτε με κινούμενο δέκτη, που μπορούν να συγκεντρώσουν τη μεσημβρινή ηλιακή ακτινοβολία του θερινού ή χειμερινού ηλιοστασίου ενός τόπου σε ένα σημείο. (σχήμα.2.10, α)
- Να αποτελείται από κινούμενα κατά έναν άξονα επίπεδα



(α)

(β)

Σχήμα.: 2.10 [4]

- Ανάλογα με το είδος της επιφάνειας του συγκενρωτή έχουμε.

- Ευθυογενείς, όπου ο δέκτης είναι γραμμή δηλ. επιφάνεια δισκ, μικρών σχετικά, διαστάσεων. (Σχήμα 2.11)



Σχήμα. 2.11: Τύπος ευθυογενή συγκεντρωτικού συλλέκτη. [4]

- Καμπυλογενείς, οπότε και ο δέκτης είναι σημείο δηλ. στην πράξη μικρή σχετικά επιφάνεια τριών διαστάσεων. (Σχήμα 2.12)



Σχήμα. 2.12: Τύπος καμπυλογενή συγκεντρωτικού συλλέκτη. [4]

Ανάλογα με τα είδη του δέκτη του συγκεντρωτικού συλλέκτη έχουμε:

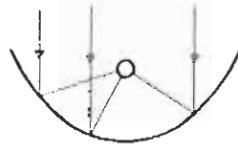
- Δέκτη σημείου
- Δέκτη γραμμή ή γραμμικό
- Επίπεδη ή κυρτή επιφάνεια δέκτη

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες κατηγοριοποιούνται επίσης σε:

- Εικονικούς

Στην περίπτωση αυτή οι συλλέκτες που σχηματίζουν το είδωλο του ήλιου στο δέκτη, έστω και παραμορφωμένο. (σχήμα 2.13)

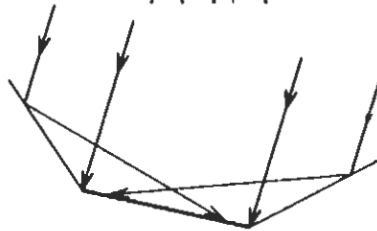
Ας μη ξεχνάμε ότι ο ήλιος δεν είναι μια σημειακή φωτεινή πηγή αλλά ένας δίσκος που φαίνεται υπό γωνία  $0.53^\circ$  από τη γη πάνω στον ουράνιο θόλο.



Σχήμα. 2.13: Εικονικός συλλέκτης. [4]

- Μη εικονικούς

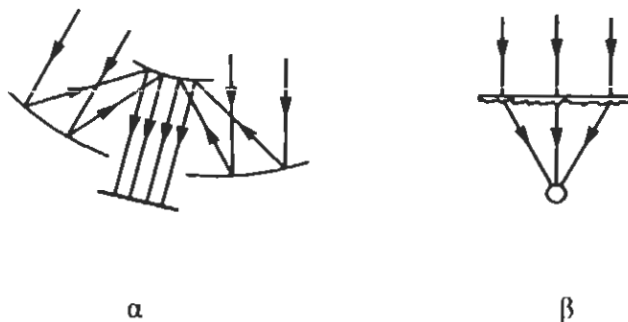
Μη εικονικοί λέγονται οι συλλέκτες, στους οποίους η άμεση ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και απορροφάται τυχαία από το δέκτη, έτσι ώστε κανένα είδωλο του ήλιου δεν μπορεί να σχηματιστεί έστω και παραμορφωμένο.



Σχήμα. 2.14: Μη εικονικός συλλέκτης. [4]

Οι βασικοί τύποι των συγκεντρωτικών συλλεκτών διακρίνονται σε αυτούς με:

- Επίπεδα κάτοπτρα (Σχήματα 2.8, 2.14)
- Παραβολικά κάτοπτρα (Σχήματα 2.2, 2.9)
- Παραβολοειδή κάτοπτρα, (Σχήμα 2.15, α)
- Φακούς Fresnel (Σχήμα 2.15, β, 2.3)

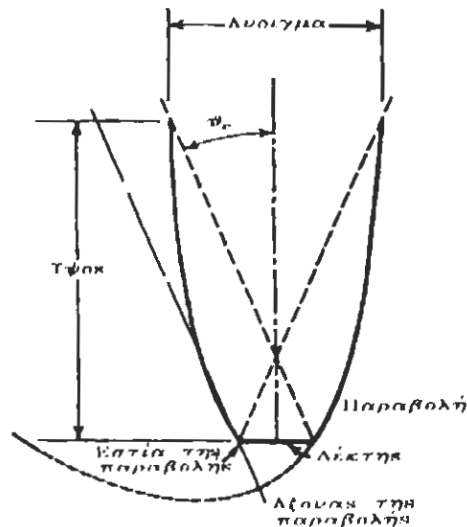


Σχήμα. 2.15 [4]

- Σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες (CPC, Σχήμα 2.4, 2.16)

Ο CPC δύο διαστάσεων αποτελείται από δύο παραβολικές ανακλαστικές επιφάνειες, ενώ ο δέκτης αποτελείται από ένα κυλινδρικό ή επίπεδο απορροφητή όπως φαίνεται στο σχήμα (2.16). Οι εστίες των παραβολών βρίσκονται πάνω στο δέκτη, ενώ στο ίδιο σχήμα φαίνονται τόσο το ύψος ή αν προτιμάτε το βάθος του συγκεντρωτή  $h$ , το άνοιγμα  $W$ , και η γωνία  $\theta_c$  που αποτελεί το ήμισυ της γωνίας αποδοχής της ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη. Το πλεονέκτημα του συλλέκτη αυτού είναι ότι έχει τη δυνατότητα να συλλέγει και ένα ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας. Αποδεικνύεται ότι για δύο διαστάσεων ιδανικού συγκεντρωτήρα ο λόγος συγκέντρωσης είναι, [4]

$$C = 1/\sin^2\theta_c$$



Σχήμα 2.16: Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης (CPC). [4]

Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο είναι το γεγονός ότι το ύψος  $h$  μπορεί να μειωθεί, πράγμα το οποίο δεν αλλάζει τη γωνία  $\theta_c$  και δεν μειώνει αισθητά την προσπίπτουσα στο δέκτη ακτινοβολία. Αν δηλ. μειωθεί το βάθος  $h$  σε  $h/2$ , τότε η προσπίπτουσα στο δέκτη ακτινοβολία μειώνεται κατά 10%. Έτσι στην πράξη, οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτήρες είναι μικρού βάθους.

Ο δέκτης μπορεί να είναι μια επίπεδη απορροφητική επιφάνεια ή να είναι σύστημα ομοκέντρων σωλήνων, από τους οποίους ο εξωτερικός να είναι σωλήνας κενού για τη μείωση των θερμικών απωλειών με αγωγή και μεταφορά και ο εσωτερικός να είναι ο σωλήνας, που να διατρέχεται από το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας [4, 1]

Παρακάτω, ακολουθεί μια κατάταξη διάφορων συγκεντρωτικών συλλεκτών με τα κύρια χαρακτηριστικά τους. [7]

Ωστόσο, για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου παρακολούθησης του ήλιου ενός κυλινδρικού παραβολικού συλλέκτη, θα αναφερθούν πέντε μέθοδοι - τρόποι παρακολούθησης [7]:

### Τρόπος 1

Ο εστιακός άξονας είναι οριζόντιος και με προσανατολισμό ανατολικά – δυτικά. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά οριζόντιο ανατολικό – δυτικό άξονα και ρυθμίζεται

μία φορά κάθε ημέρα έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να είναι κάθετες στο δέκτη του συλλέκτη το ηλιακό μεσημέρι για τη συγκεκριμένη ημέρα.

### *Τρόπος II*

Ο εστιακός άξονας είναι οριζόντιος και προσανατολίζεται ανατολικά – δυτικά. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά ανατολικό – δυτικό οριζόντιο άξονα και ρυθμίζεται συνεχώς έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να έχουν πάντα την ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης με το άνοιγμα του συγκεντρωτή.

### *Τρόπος III*

Στην περίπτωση αυτή ο εστιακός άξονας έχει προσανατολισμό βόρεια – νότια και είναι οριζόντιος. Ο συλλέκτης περιστρέφεται ως προς τον οριζόντιο άξονα βόρεια – νότια και ρυθμίζεται συνεχώς έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να έχουν πάντα την ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης με το δέκτη.

### *Τρόπος IV*

Ο εστιακός άξονας βλέπει προς βορρά-νότο και έχει σταθερή γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος. Κατά συνέπεια, είναι παράλληλος στον άξονα της γης. Αυτός ο προσανατολισμός αναφέρεται μερικές φορές ως πολικό υποστήριγμα. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά άξονα παράλληλο στον άξονα της γης με γωνιακή ταχύτητα ίση και αντίθετη με τη διεύθυνση περιστροφής της γης ( $15^\circ$  ανά ώρα).

### *Τρόπος V*

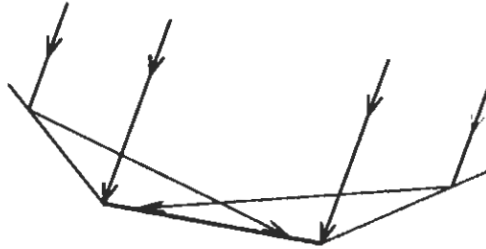
Ο εστιακός άξονας βλέπει προς βορρά-νότο ενώ είναι κεκλιμένος. Ο συλλέκτης περιστρέφεται συνεχώς (αλλά με μια σταθερή γωνιακή ταχύτητα) ως προς έναν άξονα παράλληλο στον εστιακό άξονα, ή ως προς έναν οριζόντιο άξονα κάθετο στον εστιακό, ενώ ρυθμίζεται έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν πάντα στο δέκτη υπό γωνία.

*Στο επόμενο κεφάλαιο, ακολουθεί μια αναλυτικότερη αναφορά στους τρόπους προσανατολισμού του παραβολικού συλλέκτη.*

- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με επίπεδους ανακλαστήρες

- Μη εικονικοί

- ✓  $C = 1 + 4$
- ✓ Εκμετάλλευση άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας.
- ✓ Ρύθμιση παρακολούθησης του ηλίου μια φορά για κάθε λίγες ημέρες.
- ✓ Εστίαση σε γραμμή.

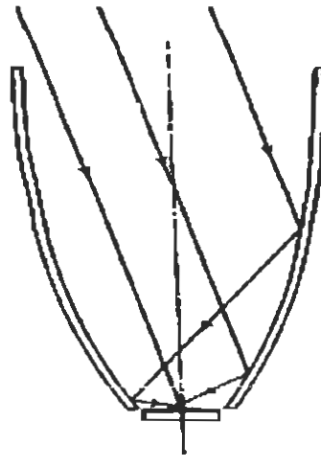


- CPC's

- Μη εικονικοί

- ✓  $C = 3 + 10$
- ✓ Περιστασιακή ρύθμιση παρακολούθησης.
- ✓ Εστίαση σε γραμμή
- ✓ Η συχνότητα ρύθμισης, εξαρτάται από το C.

π.χ για  $C = 10$  και  $2\theta_c = 11,5 \rightarrow$  ρυθμίζεται μια φορά κάθε λίγες ημέρες.  
για  $C = 5$  και  $2\theta_c = 23,0 \rightarrow$  ρυθμίζεται μια φορά το μήνα.

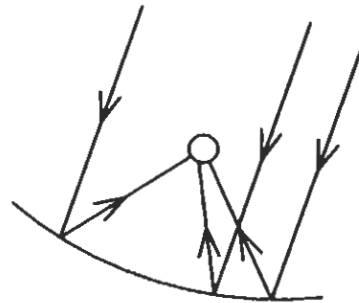


- **Κυλινδρικός Παραβολικός Συλλέκτης**

- Εικονικός

- ✓  $C = 3 \div 10$
- ✓ Εστίαση σε γραμμή.
- ✓ Η παρακολούθηση του ήλιου περιγράφεται ως εξής:

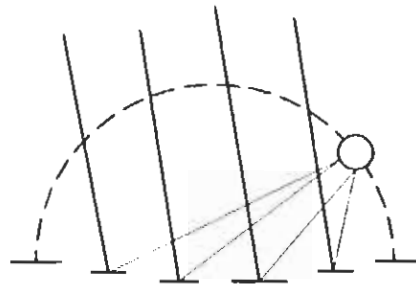
Τρόπος	Ρύθμιση
1	1 φορά / μέρα
2	Συνεχώς
3	Συνεχώς
4	1 φορά / μέρα (το ηλιακό μεσημέρι)
5	Συνεχώς



- **Συλλέκτης με Σταθερούς Ανακλαστήρες και Κινούμενο Δέκτη**

- Εικονικός

- ✓  $C = 5 \div$  Δεκάδες
- ✓ Εστίαση σε γραμμή.
- ✓ Συνεχής παρακολούθηση του ήλιου.



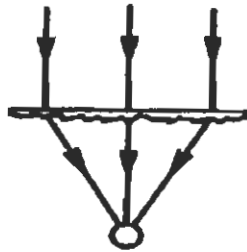


- **Φακοί Fresnel**

- Εικονικοί
- Διαθλαστικοί

- ✓  $C = 10 + 80$
- ✓ Εστίαση σε γραμμή.
- ✓ Συνεχής παρακολούθηση του ηλίου.

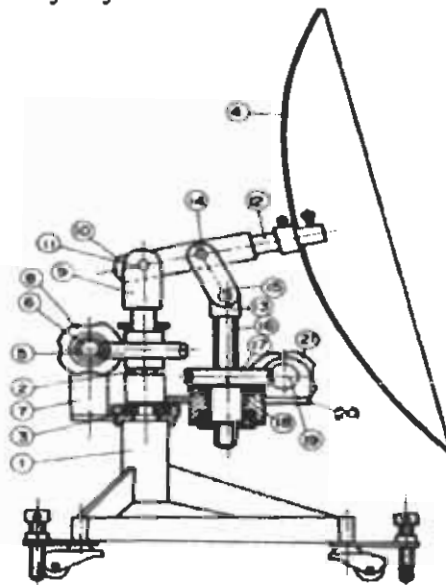
Οι συλλέκτες αυτοί, χρησιμοποιούν διαθλαστικούς φακούς. Το πάνω μέρος του φακού είναι επίπεδο ενώ το κάτω μέρος του αποτελείται από λεπτά διαμήκη αιλάκια. Οι γωνίες των αιλακιών αυτών προκαλούν την εστίαση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένο σημείο. Στο σημείο αυτό τοποθετείται ο δέκτης (κυλινδρικός αγωγός) που περιέχει το διερχόμενο θερμικό ρευστό.



- **Συλλέκτης Παραβολικού Πιάτου**

- Εικονικός

- ✓  $C = 100 +$  μερικές εκατοντάδες.
- ✓ Η συχνότητα ρύθμισης, εξαρτάται από το  $C$ .
- ✓ Εστίαση σε σημείο.
- ✓ Συνεχής παρακολούθηση σε δυο άξονες.



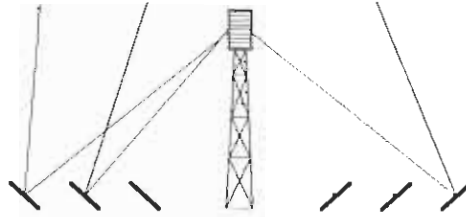
Συλλέκτης παραβολικού πιάτου (αριστερά). [13]

Μηχανισμός παρακολούθησης σε δυο άξονες (δεξιά). [12]

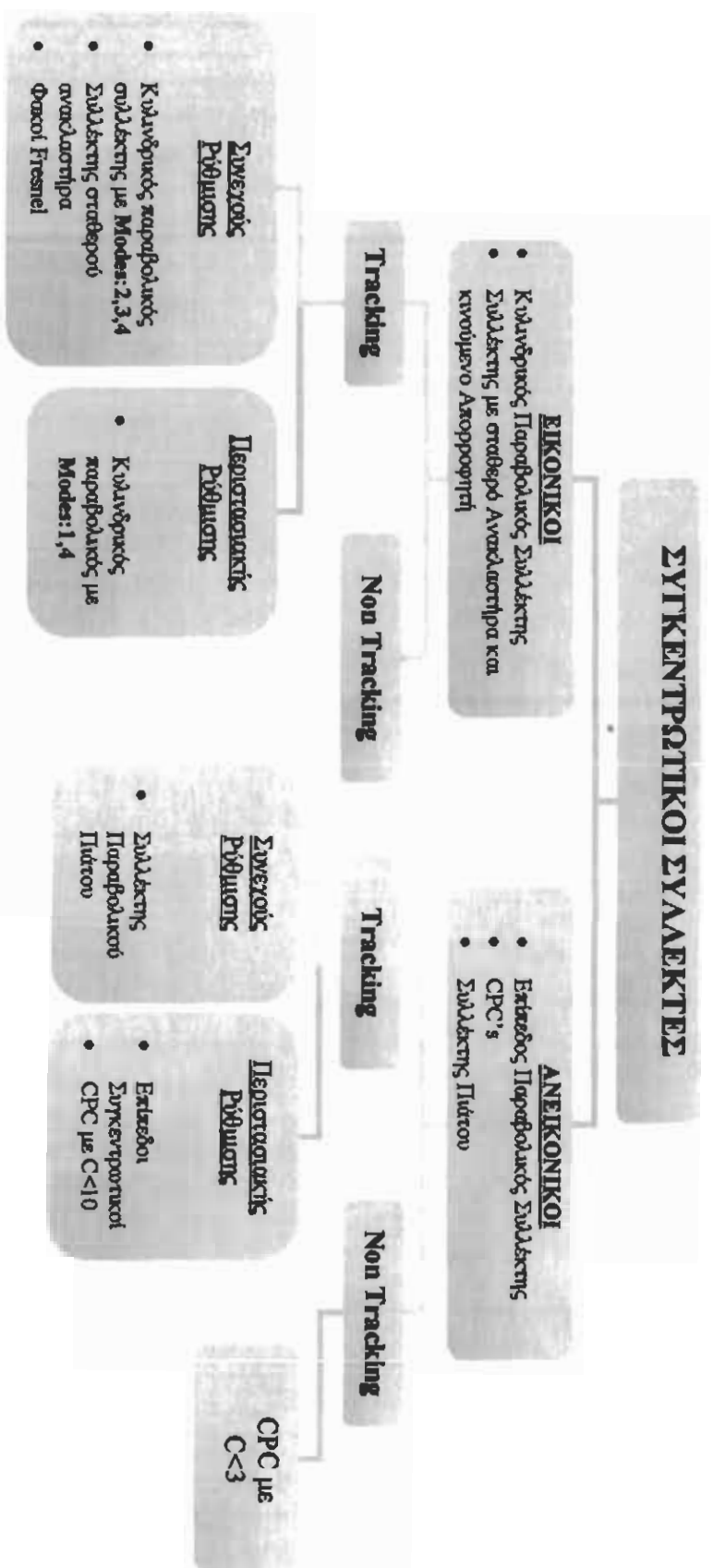
- Εγκαταστάσεις Κεντρικού Δέκτη

- Μη εικονικός

- ✓  $C = \div$  Χιλιάδες
- ✓ Σημειακή Εστίαση.
- ✓ Συνεχής παρακολούθηση (από ηλιοστάτες)



*Εν συνεχεία έχουμε μια κατάταξη των παραπάνω συλλεκτών σε μορφή δέντρου.*



Ταξινόμηση συλλεκτών σύμφωνα με τις απαιτήσεις πρόθμισης τους.

### 2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών

Η μεγάλη ποικιλία ιδεών και κατασκευών έχει ένα κεντρικό στόχο. Τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας και την κατά συνέπεια επίτευξη θερμοκρασιών υψηλότερων από αυτές που επιτυγχάνονται στην απορροφητική επιφάνεια των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Με τον τρόπο αυτό έχουμε τα εξής δυο πλεονεκτήματα :

- Συλλογή θερμότητας σε υψηλότερες θερμοκρασίες (100 – 2000 °C) που είναι χρήσιμη σε ορισμένες, κυρίως βιομηχανικές, χρήσεις.
- Μείωση κατά κανόνα, των θερμικών απωλειών της απορροφητικής επιφάνειας, λόγω της δραστηρικής μείωσής της σε έκταση.

Πέρα όμως από τα πλεονεκτήματα, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες συγκεντρώνουν και αρκετά μειονεκτήματα.

- Είναι κατά κανόνα ακριβότεροι από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες της ίδιας θερμικής απόδοσης.
- Παρουσιάζουν προβλήματα κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης και ειδικότερα:

Η ποιότητα του οπτικού συστήματος δηλ. του συγκεντρωτήρα πρέπει να είναι υψηλή και να αντέχει για μεγάλες περιόδους στην οξείδωση, στη διάβρωση, στις καιρικές συνθήκες και αλλαγές και στη σκόνη. Ο δέκτης πρέπει να έχει κατάλληλη προστασία και να αντέχει στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στις υψηλές θερμοκρασίες.

Τα συστήματα κίνησης και παρακολούθησης πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας και πιστότητας, να επιθεωρούνται και να συντηρούνται τακτικά, γιατί σε περίπτωση βλάβης χάνεται χρήσιμη ενέργεια. [4]

## 2.4 Σύγκριση Επίπεδων και Συγκεντρωτικών Συλλεκτών.

Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε αναλυτικά που υστερεί και που υπερτερεί το κάθε σύστημα. [3]

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1**

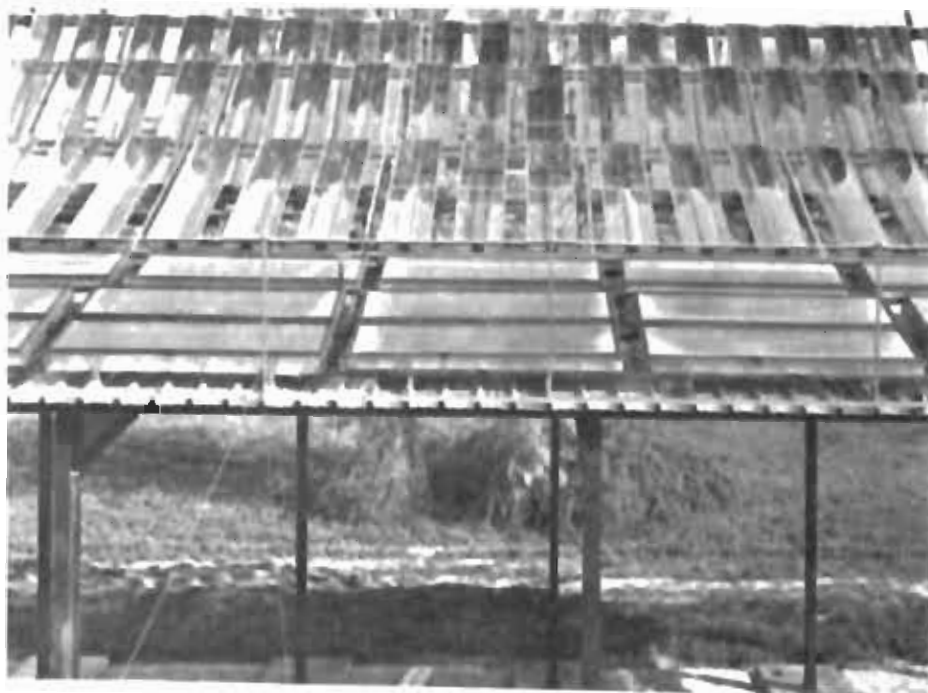
<i>Επίπεδα Συστήματα</i>	<i>Συγκεντρωτικά Συστήματα</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτινών ίση με την επιφάνεια απορρόφησής τους.</li> <li>2) Λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες.</li> <li>3) Μεγάλο ποσοστό απωλειών-χαμηλή θερμική απόδοση.</li> <li>4) Αξιοποίηση άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας.</li> <li>5) Όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την αντοχή και ποιότητα των υλικών.</li> <li>6) Απλουστευμένη τεχνολογία και κατασκευή.</li> <li>7) Όχι κινούμενα μέρη για να παρακολουθούν τον ήλιο.</li> <li>8) Χαμηλό κόστος συντήρησης.</li> <li>9) Μικρό κόστος κατασκευής.</li> <li>10) Όχι μεγάλη ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτινών πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησής τους.</li> <li>2) Λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες (&gt;200 °C).</li> <li>3) Μικρότερες απώλειες-υψηλή θερμική απόδοση.</li> <li>4) Αξιοποίηση μόνο της άμεσης ακτινοβολίας.</li> <li>5) Απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.</li> <li>6) Πολύπλοκη τεχνολογία και κατασκευή.</li> <li>7) Απαιτούνται πολύπλοκοι και ακριβείς μηχανισμοί ώστε να παρακολουθεί το σύστημα τον ήλιο κατά την κίνηση του.</li> <li>8) Υψηλό κόστος συντήρησης.</li> <li>9) Μεγάλο κόστος κατασκευής.</li> <li>10) Ευπάθεια των μεγάλων εγκαταστάσεων στις καιρικές συνθήκες.</li> </ol>

## 2.5 Πεδίο εφαρμογής των συγκεντρωτικών συλλεκτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύσαμε τις εφαρμογές των επιπέδων συλλεκτών. Το ίδιο συμβαίνει και με τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες όπου εμφανίζεται πληθώρα εφαρμογών μεταξύ των οποίων και οι παρακάτω:

- Θέρμανση υγρών.

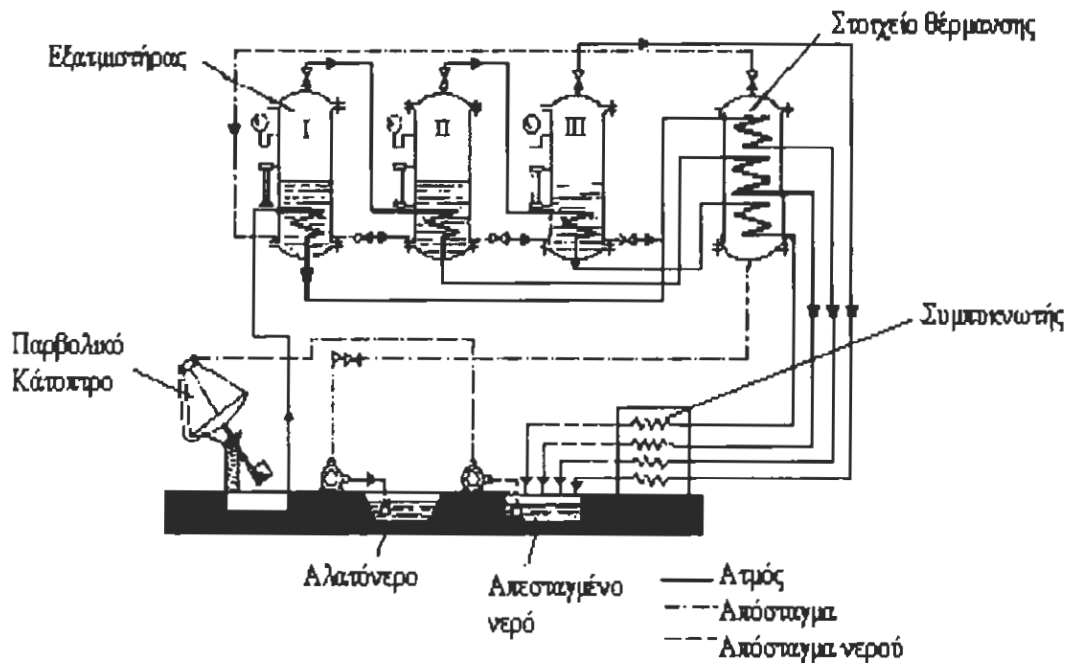
Όπως είδαμε, με τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες επιτυγχάνουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200 °C. Αυτή η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί και να αποδοθεί σε μεγαλύτερη ποσότητα υγρού όπως λάδι ή νερό κατάλληλο για χρήση, για θέρμανση χώρων, για θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών κ.α. [2]



Σχήμα 2.17: Διάταξη επίπεδων και συγκεντρωτικών συλλεκτών για θέρμανση υγρών.  
[2]

- Αφαλάτωση - Απόσταξη νερού

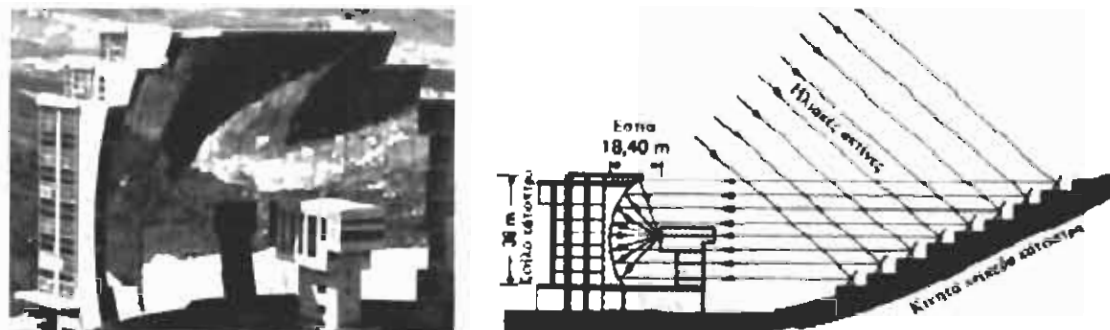
Η αφαλάτωση νερού (σχήμα 2.18) γίνεται με ψύξη. Ο ατμός που παράγεται με την ηλιακή ενέργεια από παραβολικό πιάτο, διοχετεύεται σε εναλλάκτη θερμότητας που ψύχεται με υφάλμινο νερό. Κατά τη συμπύκνωση ο ατμός αποδίδει θερμότητα και ζεσταίνει το νερό που διαρρέει τον εναλλάκτη. Ο ατμός που παράγεται στη βαθμίδα αυτή, συμπυκνώνεται σε άλλον εναλλάκτη που αποτελεί την επόμενη βαθμίδα. [2]



Σχήμα 2.18: Αφαλάτωση νερού με ηλιακή ενέργεια. [2]

- Ηλιακοί φούρνοι.

Ο ηλιακός φούρνος, χρησιμοποιείται κατά βάση για τήξη υλικών. Η λειτουργία του βασίζεται σε ένα τεράστιο παραβολικό κάτοπτρο όπου στην εστία του υπάρχει ο θάλαμος τήξης (Σχήμα 2.19). Το παραβολικό κάτοπτρο, δέχεται ανακλώμενη ακτινοβολία από κινητά επίπεδα κάτοπτρα. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται στον θάλαμο τήξης μια θερμοκρασία της τάξης των  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [2]



Σχήμα 2.19: Ηλιακός φούρνος στο Odeillo (Γαλλικά Πυρηνεία) και η σχηματική λειτουργία του. [2]

- Ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής.

Ο ηλιακός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής ή ηλιοστάσιο, είναι μια εγκατάσταση κατασκευασμένη από επίπεδα κάτοπτρα και ένα πύργο – εστία, ύψους 50 – 300 m (Σχήματα 2.6 και 2.20). Τα κάτοπτρα καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση γύρω από τον πύργο και κινούμενα συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία σ' αυτόν. Η κορυφή του πύργου είναι έτσι διαμορφωμένη ώστε να αποτελεί εστία μιας καμίνου υψηλής θερμοκρασίας ( $1000 - 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Εκεί θερμαίνεται ένα ρευστό (νερό, εύτηκτα άλατα, χημικές ενώσεις) και οδηγείται σε περιοχή εκτός του ηλιοστασίου όπου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια με στρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [8]



Σχήμα 2.20: Σχηματική παράσταση ηλιακού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. [8]



- Δοκιμή υλικών κατασκευής διαστημοπλοίων.

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες της εταιρίας Goodyear Aerospace (Σχήμα 2.21), είναι κυψελοειδούς κατασκευής και κατασκευάστηκαν για τη δοκιμή των υλικών κατασκευής διαστημοπλοίων. Το κάτοπτρο συγκεντρώνει τις ηλιακές στα μεταλλικά και τα κεραμικά υλικά ώστε να δοκιμαστεί η αντίστασή τους στην θερμότητα που αναπτύσσεται στο κοσμικό διάστημα καθώς και κατά την επάνοδο του διαστημοπλοίου στην ατμόσφαιρα. [2]



Σχήμα 2.21: Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης της εταιρίας Goodyear Aerospace (ΗΠΑ) για δοκιμές υλικών κατασκευής διαστημόπλοιοιων. [2]

- Ατμοπαραγωγή.

Η παραγωγή ατμού, μπορεί να επιτευχθεί σχεδόν με όλους τους τύπους των συγκεντρωτικών συλλεκτών και με τη χρήση νερού. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες λειτουργούν με θερμοκρασίες άνω των 200 °C, θερμοκρασία που ατμοποιεί το νερό.

- Ηλιακοί βραστήρες.

Οι ηλιακοί βραστήρες είναι απλές και διαδομένες συσκευές που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα για την παρασκευή φαγητών. Αποτελείται από ένα παραβολικό ανακλαστήρα όπου στο σημείο εστίασης τοποθετείται η θερμαινόμενη επιφάνεια.[2, 12]



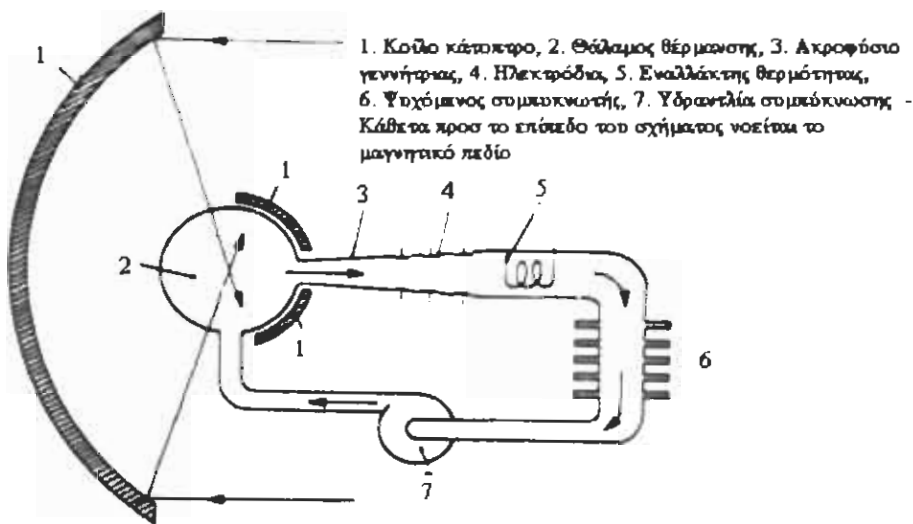
Σχήμα 2.22: Ηλιακοί βραστήρες.

Αριστερά: Με χειροκίνητο σύστημα παρακολούθησης, [2]

Δεξιά: Με αυτόματο σύστημα με δυο άξονες παρακολούθησης [12]

- Μαγνητουδροδυναμικές γεννήτριες. (MHD –G)

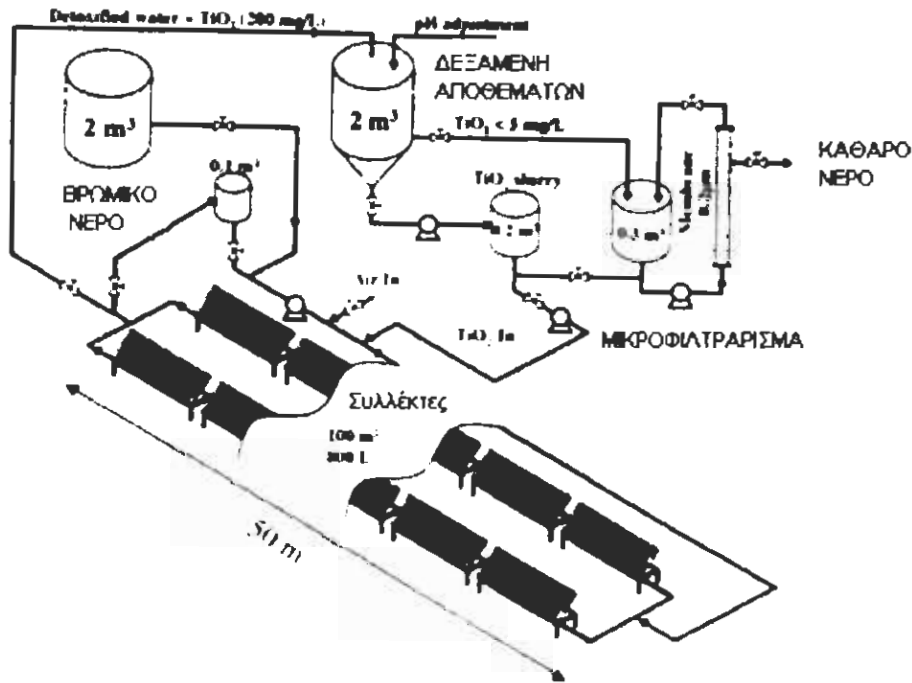
Οι μαγνητουδροδυναμικές γεννήτριες, χρησιμεύουν για την άμεση μετατροπή της θερμικής ενέργειας των υπέρθερμων αερίων σε ηλεκτρική. Το εξαιρετικά θερμό αέριο μετατρέπεται σε αγώγιμο με θερμικό ιονισμό και λέγεται πλάσμα. Έτσι μπορεί να παραχθεί ρεύμα απ' ευθείας. Το πλάσμα επιταχύνεται σε ακροφύσιο και κινείται με ταχύτητα 1000 m/sec μέσα από εγκάρσιο μαγνητικό πεδίο. Τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του φορτίου διαχωρίζονται από το μαγνητικό πεδίο και άγονται στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Έτσι η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η δυσκολία λειτουργίας όμως είναι ότι η αρχική θερμοκρασία του αερίου πρέπει να είναι περίπου 2500 °C, πράγμα που πραγματοποιείται μεγάλη κατανάλωση καυσίμου. Για την επίτευξη αυτής της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης όπως στο σχήμα (2. 23). [2]



Σχήμα 2.23: Σχηματική παράσταση μαγνητουδροδυναμικής γεννήτριας με ηλιακή ενέργεια. [2]

- Απολύμανση – αποτοξίνωση νερού.

Σε πολλές περιοχές του πλανήτη, εμφανίζεται η ανάγκη απολύμανσης ή αποτοξίνωσης του νερού. Στην Ισπανία υπάρχει εγκατάσταση αποτοξίνωσης νερού που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια και χρησιμοποιούνται σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες (CPC's) Στο σχήμα (2.24) φαίνεται η λειτουργία της εγκατάστασης αυτής.[11]



Σχήμα 2. 24: Ηλιακή εγκατάσταση αποτοξίνωσης νερού (HIDROCEN, Ισπανία). [11]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

*Προχωρώντας στην αναφορά μας στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, σε αυτό το κεφάλαιο θα μπούμε στην ανάλυση των συλλεκτών αυτών, και συγκεκριμένα της περίπτωσης του κυλινδρικού παραβολικού συλλέκτη. Ειδικότερα, θα δούμε τις χαρακτηριστικές αστρονομικές παραμέτρους ενός τέτοιου συλλέκτη και τους τρόπους παρακολούθησης του ηλίου. Στη συνέχεια, γίνεται η ανάλυση της απόδοσης του έτσι ώστε να έχουμε μια εικόνα της χρήσης και στην πράξη, ενός τέτοιου συλλέκτη. Ζητούμενα όπως, λόγος συγκέντρωσης, απορροφούμενη ισχύς, ωφέλιμη ηλιακή ενέργεια, οπτικός βαθμός απόδοσης κ.τ.λ τα βρίσκουμε σε αυτό το κεφάλαιο. Τέλος, θα δούμε κάποιες άλλες παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν την απόδοση αυτού του συλλέκτη.*

<b>Κεφάλαιο 3.1</b>	Γενικά Χαρακτηριστικά
<b>Κεφάλαιο 3.2</b>	Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών
<b>Κεφάλαιο 3.3</b>	<b>Κυλινδρικός Παραβολικός Συλλέκτης</b>
§ 3.3.1	Περιγραφή
§ 3.3.2	Χαρακτηριστικές Αστρονομικές Παράμετροι
§ 3.3.3	Τρόποι Προσανατολισμού και Παρακολούθησης του Ηλίου
§ 3.3.4	Ανάλυση απόδοσης κυλινδρικού παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη
§ 3.3.5	Σχέση Μεταξύ Ολικού Συντελεστή Απωλειών και Μεταφοράς Θερμότητας
§ 3.3.6	Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας μεταξύ του Απορροφητή και της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης
§ 3.3.7	Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην Εξωτερική Επιφάνεια της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης

- § 3.3.8 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του Απορροφητή
- § 3.3.9 Εμπειρική εξίσωση για τον Ολικό Συντελεστή Απωλειών
- § 3.3.10 Επίδραση της Εσωτερικής Θερμοκρασίας στο Βαθμό Απόδοσης
- § 3.3.11 Επίδραση της Παροχής Μάζας στην Απόδοση του Συλλέκτη.
- § 3.3.12 Επίδραση του Συντελεστή Εκπομπής  $\epsilon$  της Επιλεκτικής Επιφάνειας του Απορροφητή και του Κενού ανάμεσα στον Απορροφητή και στην Γυάλινη Κάλυψη, στο Βαθμό Απόδοσης.
- § 3.3.13 Επίδραση του Λόγου Συγκέντρωσης  $C$  στην Απόδοση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

#### 3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ρύθμιση των κατόπτρων ή των φακών. Το οπτικό σύστημα κατευθύνει την ηλιακή ακτινοβολία επάνω σε έναν απορροφητή (δέκτη) μικρότερης επιφάνειας που περιβάλλεται συνήθως από μια διαφανή κάλυψη. Λόγω του οπτικού συστήματος, λαμβάνουν χώρα ορισμένες απώλειες (εκτός από εκείνες που εμφανίζονται ενώ η ακτινοβολία διαβιβάζεται μέσω της κάλυψης). Αυτές περιλαμβάνουν τις απώλειες αντανάκλασης ή απορρόφησης στα κάτοπτρα ή τους φακούς, και τις οφειλόμενες, σε γεωμετρικές ατέλειες του οπτικού συστήματος, απώλειες. Η συνδυασμένη επίδραση τέτοιων απωλειών κατανοείται καλύτερα με την εισαγωγή ενός όρου αποκαλούμενου ως 'οπτική απόδοση'. Η εισαγωγή περισσότερων οπτικών απωλειών αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η φύση της θερμικής ροής στην επιφάνεια του απορροφητή, συγκεντρώνεται σε μια μικρότερη περιοχή. Δηλαδή, η επιφάνεια από την οποία η θερμότητα μεταβιβάζεται στο ρευστό είναι μικρότερη σε σύγκριση με τους επίπεδους συλλέκτες. Κατά συνέπεια, και η απόδοση συλλογής είναι συνήθως υψηλότερη.

Είναι γνωστό από την θεωρία των επίπεδων συλλεκτών, ότι μερικά από τα θετικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα τους είναι η απλότητα του σχεδιασμού και η ευκολία συντήρησης. Το ίδιο πράγμα δεν μπορεί να ειπωθεί και για τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Λόγω της παρουσίας ενός οπτικού συστήματος, ένας συγκεντρωτικός συλλέκτης πρέπει συνήθως να 'παρακολουθεί' τον ήλιο έτσι ώστε η ακτινοβολία να κατευθύνεται συνεχώς επάνω στην επιφάνεια του απορροφητή. Η μέθοδος που υιοθετείται για την ακρίβεια με την οποία πρέπει να γίνει αυτό, ποικίλλει αρκετά. Στους συλλέκτες που χαρακτηρίζονται από έναν χαμηλό συντελεστή συγκέντρωσης, είναι επαρκές να γίνεται ρύθμιση του προσανατολισμού τους μια ή δύο φορές τη μέρα. Αυτό μπορεί να γίνει και χειρωνακτικά. Η ανάγκη για την εκμετάλλευση της ακτινοβολίας από συλλέκτες, εισάγει μια πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό τους. Οι απαιτήσεις συντήρησης επίσης μεγιστοποιούνται. Όλοι αυτοί οι παράγοντες προστίθενται στο κόστος. Σε αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι από τη φύση τους οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χάνουν ένα μεγάλο μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει σημαντικές πρόοδοι στην ανάπτυξη των συγκεντρωτικών συλλεκτών και διάφοροι τύποι έχουν εμπορευματοποιηθεί. Οι περισσότεροι συγκεντρωτικοί συλλέκτες εστιάζουν σε γραμμή και η παραγόμενη θερμοκρασία μπορεί να φθάσει και τους 400 C°. [7]

### 3.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Συγκεντρωτικών Συλλεκτών

Για την κατανόηση της λειτουργίας των συγκεντρωτικών συλλεκτών θα καθορίσουμε 3 όρους που αφορούν τη φύση τους: άνοιγμα της ανακλαστικής επιφάνειας, λόγο συγκέντρωσης και γωνία αποδοχής.

- Ένας κυλινδρικός ή γραμμικός συλλέκτης, χαρακτηρίζεται από το πλάτος, ενώ η επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος του ανοίγματος της απορροφητικής αυτής επιφάνειας.
- Ο λόγος συγκέντρωσης  $C$  είναι η αναλογία της ενεργούς περιοχής του ανοίγματος προς την επιφάνεια του απορροφητή. Οι τιμές του συντελεστή συγκέντρωσης ποικίλλουν από την τιμή ένα ως μερικές χιλιάδες στην περίπτωση ενός κεντρικό δέκτη.
- Η γωνία αποδοχής  $2\theta_c$  (Σχ. 2.16) είναι η γωνία πέρα από την οποία η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να παρεκκλίνει από το δέκτη (σε CPC) μέχρι να φθάσει στον απορροφητή. Συλλέκτες με μεγάλη γωνία αποδοχής απαιτούν μόνο περιστασιακές ρυθμίσεις, ενώ συλλέκτες με μικρή γωνία αποδοχής πρέπει να ρυθμίζονται συνεχώς. [7]

### 3.3 ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

#### 3.3.1 Περιγραφή

Ο κυλινδρικός παραβολικός συλλέκτης ονομάζεται επίσης και παραβολικός ή γραμμικός παραβολικός συλλέκτης. Όπως είπαμε και νωρίτερα, τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας συμβατικός παραβολικός συλλέκτης είναι, (I) ο σωλήνας του απορροφητή που βρίσκεται στον εστιακό άξονα μέσω του οποίου κυκλοφορεί το υγρό, (II) η ομόκεντρη διαφανής κάλυψη, και (III) η παραβολική ανακλαστική επιφάνεια.

Οι επιφάνειες των ανοιγμάτων των εμπορικά διαθέσιμων συλλεκτών κυμαίνονται από 1 έως 6 m<sup>2</sup> με το μήκος να είναι μεγαλύτερο από το πλάτος ανοίγματος. Οι συντελεστές συγκέντρωσης κυμαίνονται από 10 έως 80, και οι γωνίες μεταξύ του άξονα συμμετρίας και του άκρου της παραβολικής επιφάνειας τους ( $\phi_r$ ) από 70 έως 120°.

Ο σωλήνας του απορροφητή κατασκευάζεται συνήθως από μαλακό χάλυβα ή χαλκό και έχει διάμετρο από 2,5 έως 5 εκατ.. Είναι καλυμμένος με ένα ανθεκτικό στη θερμότητα μαύρο χρώμα και περιβάλλεται γενικά από μια δακτυλιοειδή ομόκεντρη κάλυψη γυαλιού με μια απόσταση 1-2 cm. Στην περίπτωση των συλλεκτών υψηλής απόδοσης, ο σωλήνας είναι ντυμένος με μια επιλεκτική επιφάνεια όπως μαύρο χρώμιο και το διάστημα, μεταξύ του σωλήνα και της γυάλινης κάλυψης, είναι εκκενωμένο. Σε μερικούς συλλέκτες, αντί της ομόκεντρης κάλυψης στον απορροφητή έχουμε την κάλυψη ολόκληρου του συλλέκτη από ένα γυαλί ή πλαστικό. Μια τέτοια διάταξη βοηθά στην προστασία της ανακλαστικής επιφάνειας από τα καιρικά φαινόμενα.

Το υγρό που απαιτείται, εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία που θέλουμε να επιτύχουμε στο σύστημα. Συνήθως χρησιμοποιούνται οργανικά υγρά για τη μεταφορά της θερμότητας (καλούμενα και ως θερμικά ρευστά). Λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητάς τους, αυτά τα υγρά έχουν χαμηλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

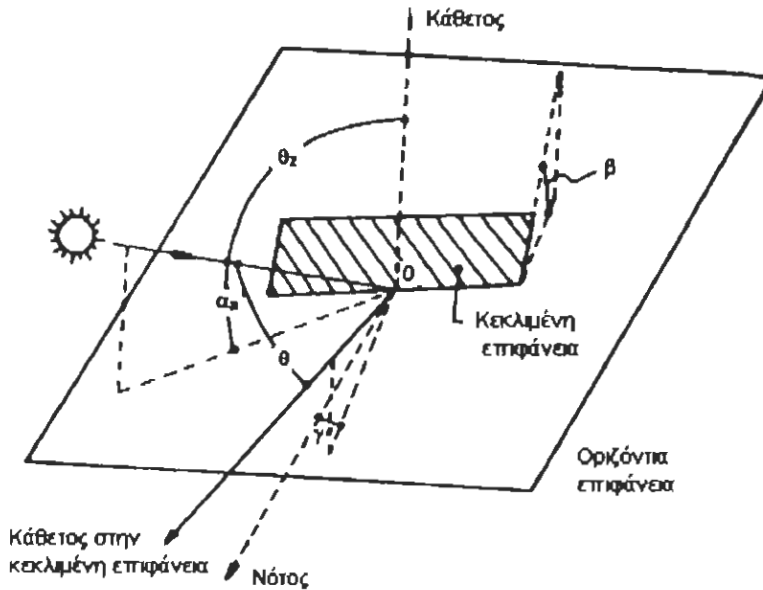


Η ανακλαστική επιφάνεια είναι γενικώς καλυμμένη από ασημωμένο γυαλί. Χρησιμοποιούνται επίσης και λεπτά ηλεκτρογυαλισμένα φύλλα αλουμινίου όπως επίσης και ασημένιες ακρυλικές επιφάνειες.

Ο ανακλαστήρας είναι δομημένος από ένα λεπτό, ελαφρύ στρώμα συνήθως από φύλλο αργιλίου. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου αυτής της ενισχυτικής δομής και του συστήματος για την παρακολούθηση του ήλιου παίζουν σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι επηρεάζει τη μορφή και τον προσανατολισμό της ανακλαστικής επιφάνειας. Μερικοί από τους παράγοντες που εξετάζονται στο σχεδιασμό της διάταξης είναι ότι δεν πρέπει να δέχεται μεγάλες στρεβλώσεις λόγω του βάρους, ενώ πρέπει να είναι σε θέση ώστε να αντιστέκεται στα φορτία του αέρα.[7]

### 3.3.2 Χαρακτηριστικές Αστρονομικές Παράμετροι

Για την καλύτερη κατανόηση των εξισώσεων και του τρόπου προσανατολισμού των συλλεκτών, είναι σημαντικό να γίνει μια αναφορά σχετικά με τις αστρονομικές χαρακτηριστικές παραμέτρους και τη γεωμετρία της ηλιακής ακτινοβολίας στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα. 3.1: Απεικόνιση της γεωμετρίας της ηλιακής ακτινοβολίας. [7]

Στο σχήμα (3.1) διακρίνουμε την γωνία πρόσπτωσης  $\theta$ , την απόκλιση  $\delta$ , την αζιμουθιακή γωνία επιφάνειας  $\gamma$ , την ωριαία γωνία  $\omega$  και την κλίση του συλλέκτη  $\beta$ .

Γεωγραφικό πλάτος  $\varphi$  ενός τόπου είναι η γωνιακή θέση του βόρεια ή νότια από τον ισημερινό. Το γεωγραφικό πλάτος λαμβάνεται θετικό για το βόρειο ημισφαίριο και κυμαίνεται από  $-90^\circ$  ως  $+90^\circ$

Η απόκλιση  $\delta$  είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Κυμαίνεται από  $+23.45^\circ$  την 21<sup>η</sup> Ιουνίου ως  $-23.45^\circ$  την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου και γίνεται ίση με μηδέν τις ημέρες της ισημερίας. Η απόκλιση υπολογίζεται από την σχέση του Cooper:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (3.α), [5]$$

όπου  $n$  είναι η μέρα του έτους.

Η αζιμουθιακή γωνία επιφάνειας  $\gamma$ , είναι η απόκλιση της καθέτου που άγεται στην επιφάνεια από τον τοπικό μεσημβρινό. Κυμαίνεται από  $-180^\circ$  ως  $+180^\circ$  και λαμβάνεται θετική για δυτικό προσανατολισμό και αρνητική για ανατολικό.

Η ωριαία γωνία  $\omega$  είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού, λόγω της περιστροφής της γης κατά  $15^\circ$  την ώρα γύρω από τον άξονα της. Για τις προ μεσημβρίας ώρες λαμβάνεται αρνητική και για τις μετά μεσημβρίας ώρες λαμβάνεται θετική.

Η κλίση  $\beta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται από την επιφάνεια του συλλέκτη με το οριζόντιο επίπεδο. [5]

Η γωνία πρόσπτωσης,  $\theta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στη διεύθυνση του ήλιου και της καθέτου στην επιφάνεια του συλλέκτη. Δίνεται από:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \phi (\sin \delta \cos \beta + \cos \delta \cos \gamma \cos \omega \sin \beta) \\ &+ \cos \phi (\cos \delta \cos \omega \cos \beta - \sin \delta \cos \gamma \sin \beta) \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \quad (3.\beta), [5]$$

Είναι προφανές ότι για  $\beta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \phi (0 + \cos \delta \cos \gamma \cos \omega \cdot 1) \\ &+ \cos \phi (0 - \sin \delta \cos \gamma \cdot 1) \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \cdot 1 \end{aligned} \quad [5]$$

και

$$\cos \theta = \sin \phi \cos \delta \cos \gamma \cos \omega - \cos \phi \sin \delta \cos \gamma + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (3.\gamma), [5]$$

και για  $\beta = 0^\circ$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \phi (\sin \delta \cdot 1 + 0) \\ &+ \cos \phi (\cos \delta \cos \omega \cdot 1 - 0) \\ &+ 0 \end{aligned} \quad [5]$$

και

$$\cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (3.\delta), [5]$$

Στην περίπτωση αυτή ( $\beta = 0^\circ$ ) η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  είναι η ζενίθια γωνία  $\theta_z$  όπου στους παρακάτω υπολογισμούς ονομάζεται γωνία ηλιακού ύψους  $\alpha_a$ .

Στο σημείο αυτό εισάγουμε την χαρακτηριστική παράμετρο ηλιακή γωνία αζιμουθίου  $\gamma_s$ . Η γωνία αυτή σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ νότου και της προβολής του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο. Δίνεται από: [7]

$$\cos \gamma_s = (\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta) / \sin \theta_z \cos \phi \quad (3.\epsilon), [5]$$

και,

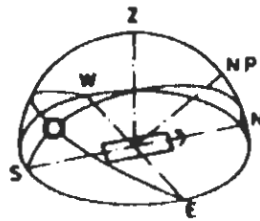
$$\sin \gamma_s = \cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta$$

### 3.3.3 Τρόποι Προσανατολισμού και Παρακολούθησης του Ηλίου

Ένας κυλινδρικός παραβολικός συλλέκτης είναι προσανατολισμένος με τον εστιακό άξονά του που δείχνει είτε ανατολικά - δυτικά, είτε βόρεια - νότια. Στον προσανατολισμό ανατολής - δύσης, ο εστιακός άξονας είναι οριζόντιος, ενώ στον προσανατολισμό βόρεια - νότια, ο εστιακός άξονας μπορεί να είναι οριζόντιος ή να έχει κάποια κλίση. Οι διάφοροι τρόποι παρακολούθησης της ακτινοβολίας που υιοθετούνται, είναι οι ακόλουθοι:

#### Τρόπος I

Ο εστιακός άξονας είναι οριζόντιος και με προσανατολισμό ανατολικά - δυτικά. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά οριζόντιο ανατολικό - δυτικό άξονα και ρυθμίζεται μία φορά κάθε ημέρα έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να είναι κάθετες στο δέκτη του συλλέκτη το ηλιακό μεσημέρι για συγκεκριμένη ημέρα.



Τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας I. [10]

Σε αυτήν την περίπτωση, ο δέκτης είναι μια υποθετική επιφάνεια με,  $\gamma = 0^\circ$  ή  $\gamma = 180^\circ$ . Η περίπτωση όπου  $\gamma = 0$  εμφανίζεται όταν  $(\varphi - \delta) > 0$  και η περίπτωση όπου  $\gamma = 180^\circ$ , εμφανίζεται όταν  $(\varphi - \delta) < 0$ . Προκειμένου να βρεθεί η κλίση  $\beta$  του δέκτη, έχουμε

$$\beta = (\varphi - \delta) > 0 \quad \text{για } \gamma = 0^\circ \quad (3.1)$$

$$\beta = (\delta - \varphi) < 0 \quad \text{για } \gamma = 180^\circ \quad (3.2)$$

Η γωνία της πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο δέκτη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας λαμβάνεται τοποθετώντας τις εξισώσεις (3.1) και (3.2) στην (3.β). Για την περίπτωση όπου,  $\gamma = 0^\circ$ , δηλαδή επιφάνεια με κλίση προς Νότο έχουμε:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega \end{aligned} \quad (3.2. \alpha)$$

ενώ για  $\gamma = 180^\circ$  δηλαδή επιφάνεια με κλίση προς Βορά, λαμβάνουμε τη σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta + \sin \delta \cos \phi \sin \beta \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega - \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega \end{aligned}$$

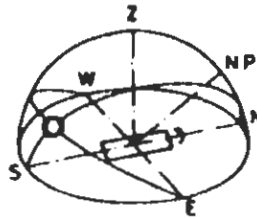
οπότε και στις δυο περιπτώσεις:

$$\cos \theta = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cdot \cos \omega \quad (3.3)$$

[7, 6]

### Τρόπος II

Ο εστιακός άξονας είναι οριζόντιος και προσανατολίζεται ανατολικά – δυτικά. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά ανατολικό – δυτικό οριζόντιο άξονα και ρυθμίζεται συνεχώς έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να έχουν πάντα την ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης με το δέκτη.



Τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας II. [10]

Σε αυτήν την περίπτωση επίσης, υποθέτουμε ότι ο δέκτης είναι μια επιφάνεια με  $\gamma = 0^\circ$ , ή  $\gamma = 180^\circ$ . Προκειμένου να βρεθεί η σχέση έτσι ώστε ο όρος  $\theta$  να είναι ελάχιστος, διαφορίζουμε το δεξιό μέλος της προκύπτουσας εξίσωσης (3.2.α) ως προς  $\beta$  και το εξισώνουμε με μηδέν. Κατά συνέπεια, παίρνουμε

$$\tan (\varphi - \beta) = [\tan \delta / \cos \omega] \quad \text{για } \gamma = 0^\circ \quad (3.4\alpha)$$

$$\text{και } \tan (\varphi + \beta) = -[\tan \delta / \cos \omega] \quad \text{για } \gamma = 180^\circ \quad (3.4\beta)$$

Οι εξισώσεις (3.4α) και (3.4β) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της κλίσης του δέκτη. Η εξίσωση (3.4α) που αντιστοιχεί σε γωνία  $\gamma = 0^\circ$  χρησιμοποιείται εάν το μέγεθος της γωνίας  $\gamma$ , αζιμουθίου, είναι μικρότερο από  $90^\circ$ , ενώ η εξίσωση (3.4β) που αντιστοιχεί σε  $\gamma = 180^\circ$  χρησιμοποιείται εάν το μέγεθος της γωνίας αζιμουθίου είναι μεγαλύτερο από  $90^\circ$ .

Η έκφραση για την αντίστοιχη ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης λαμβάνεται με αντικατάσταση της εξίσωσης (3.4α) και (3.4β) στην εξίσωση (3.β). Και για τις δύο περιπτώσεις, λαμβάνουμε

$$\cos \theta = (1 - \cos^2 \delta \cdot \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (3.5)$$

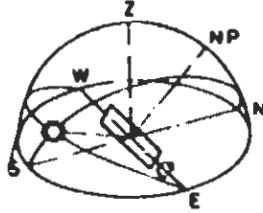
Η κλίση αυτής της επιφάνειας δίνεται από:

$$\tan \beta = \tan \theta_z |\cos \gamma_z|$$

[7, 6]

### Τρόπος III

Στην περίπτωση αυτή ο εστιακός άξονας έχει προσανατολισμό βόρεια – νότια και είναι οριζόντιος. Ο συλλέκτης περιστρέφεται ως προς τον οριζόντιο άξονα βόρεια – νότια και ρυθμίζεται συνεχώς έτσι ώστε η ακτίνες του ηλίου να έχουν πάντα την ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης με το δέκτη.



#### Τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας III. [10]

Σε αυτήν την περίπτωση, η γωνία αζιμουθίου είναι,  $\gamma = +90^\circ$  πριν από το μεσημέρι και  $-90^\circ$  μετά από το μεσημέρι. Κατά συνέπεια, πριν από το μεσημέρι, η εξίσωση (3.6) γίνεται

$$\cos \theta = (\sin \phi \cdot \sin \delta \cdot \cos \beta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega) \cdot \cos \beta + \cos \delta \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta \quad (3.6)$$

Προκειμένου να βρεθεί η κλίση έτσι ώστε η γωνία  $\theta$  να είναι ένα ελάχιστη, έχουμε

$$\tan \beta = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega} \quad (3.7)$$

Η εξίσωση (3.7) χρησιμοποιείται για την εύρεση της κλίσης του δέκτη οποιαδήποτε στιγμή πριν από το μεσημέρι. Η έκφραση για την αντίστοιχη ελάχιστη γωνία πρόσπτωσης λαμβάνεται με την αντικατάσταση της εξίσωσης (3.7) στην εξίσωση (3.6), ήτοι

$$\cos \theta = \left[ (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega)^2 + \cos^2 \delta \sin^2 \omega \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

όπου  $(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) = \cos \theta_z$  οπότε:

$$\cos \theta = \left[ \cos^2 \theta_z + \cos^2 \delta \sin^2 \omega \right]^{1/2} \quad (3.8.a)$$

Μετά από το μεσημέρι, δηλ. για  $\gamma = -90^\circ$ , έχουμε:

$$\cos \theta = (\sin \phi \cdot \sin \delta \cdot \cos \beta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega) \cdot \cos \beta - \cos \delta \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta$$

$$\text{άρα} \quad \cos \theta = \left[ \cos^2 \theta_z - \cos^2 \delta \sin^2 \omega \right]^{1/2} \quad (3.8.β)$$

και η κλίση για την ελάχιστη γωνία  $\theta$  είναι:

$$\tan \beta = \frac{-\cos \delta \sin \omega}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega} \quad (3.9)$$

Η έκφραση του  $\cos \theta$  λαμβάνεται η ίδια. [7, 6]

#### *Τρόπος IV*

Ο εστιακός άξονας βλέπει προς βορρά-νότο και έχει σταθερή γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος. Κατά συνέπεια, είναι παράλληλος στον άξονα της γης. Αυτός ο προσανατολισμός αναφέρεται μερικές φορές ως πολικό υποστήριγμα. Ο συλλέκτης περιστρέφεται κατά άξονα παράλληλο στον άξονα της γης με γωνιακή ταχύτητα ίση και αντίθετη με τη διεύθυνση περιστροφής της γης ( $15^\circ$  ανά ώρα).

Ο δέκτης ρυθμίζεται έτσι ώστε να βλέπει προς το νότο. Κατά συνέπεια, θέτοντας όπου  $\beta = \phi$ ,  $\gamma = 0$  και

$\omega = 0$  στη σχέση (3.β), παίρνουμε:

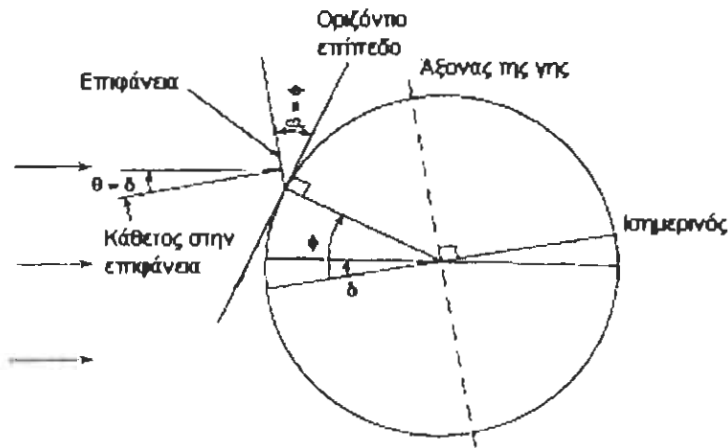
$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \phi (\sin \delta \cos \beta + \cos \delta \cos \omega \sin \beta) + \cos \phi (\cos \delta \cos \omega \cos \beta - \sin \delta \sin \beta) \\ &= \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos \omega \cos(\phi - \beta) \end{aligned}$$

$$\text{άρα} \quad \theta = \delta \quad (3.10)$$

Και η κλίση του συλλέκτη είναι:

$$\tan \beta = \frac{\tan \phi}{\cos \gamma}$$

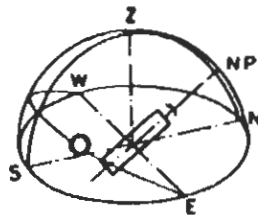
Αυτό φαίνεται επίσης από το σχήμα 3.2 στο οποίο ο κύκλος αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό μήκος μέσω της θέσης του συλλέκτη. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, δεδομένου ότι ο συλλέκτης περιστρέφεται με ταχύτητα ίση με την περιστροφή της γης και για έναν άξονα παράλληλο, στον άξονα της, ισχύει η σχέση (3.10). [7, 6]



Σχήμα.3.2: Τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας IV. Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  είναι ίση με την απόκλιση  $\delta$ .

#### Τρόπος V

Ο εστιακός άξονας βλέπει προς βορρά-νότο ενώ είναι κεκλιμένος. Ο συλλέκτης περιστρέφεται συνεχώς (αλλά όχι με μια σταθερή γωνιακή ταχύτητα) ως προς έναν άξονα παράλληλο στον εστιακό άξονα, ή και ως προς έναν οριζόντιο άξονα, κάθετο στον εστιακό, ενώ ρυθμίζεται έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν πάντα στο δέκτη υπό γωνία.



Σε αυτήν την περίπτωση, ισχύει προφανώς ότι  $\cos\theta = 1$ . Έτσι είναι εύκολο να δειχτεί ότι κατά το ηλιακό μεσημέρι ισχύει,

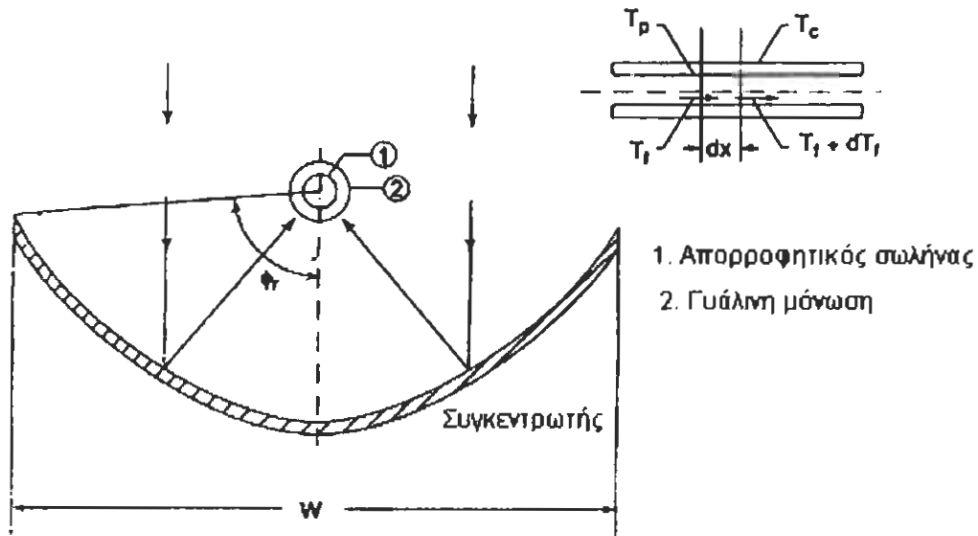
$$\beta = |\varphi - \delta| \quad (3.11)$$

[7, 6]



### 3.3.4 Ανάλυση απόδοσης κυλινδρικού παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη

Εξετάζουμε τώρα την απόδοση ενός κυλινδρικού παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη του οποίου ο δέκτης έχει άνοιγμα  $W$ , μήκος  $L$  και περιφερειακή γωνία  $\varphi$ , (σχήμα 3.3) [7]. Ο απορροφητικός σωλήνας 1 έχει εσωτερική διάμετρο  $D_i$  και εξωτερική  $D_o$  με μια



Σχήμα. 3.3: Κυλινδρικός παραβολικός συλλέκτης σε τομή πρόωσης.

ομόκεντρη κάλυψη γυαλιού 2 εσωτερικής διαμέτρου  $D_{ci}$  και εξωτερικής διαμέτρου  $D_{co}$ . Η παροχή του χρησιμοποιούμενου ρευστού είναι  $\dot{m}$  και έχει ειδική θερμότητα  $C_p$ , θερμοκρασία εισόδου  $T_{fi}$  και θερμοκρασία εξόδου  $T_{fo}$ .

Υποθέτουμε ότι ο απορροφητικός σωλήνας είναι αρκετά μακρύς. Στην πράξη αυτό θα σημαίνει ότι ο σωλήνας είναι λίγο μεγαλύτερος σε μήκος, (υποθέτουμε περίπου 10 %) από το συγκεντρωτή και ότι η ροή δια μέσου του σωλήνα δεν θα ήταν ομοιόμορφη κατά μήκος του αγωγού. Για σκοπούς ανάλυσης εντούτοις, δεν θα λάβουμε υπόψη αυτό το πρόσθετο μήκος του σωλήνα και θα υποθέσουμε ότι η ροή της θερμότητας είναι αμετάβλητη σε όλο το μήκος του αγωγού. Επίσης, υποθέτουμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο σωλήνα και την κάλυψη του γυαλιού είναι αμελητέα. Ο λόγος συγκέντρωσης του συλλέκτη δίνεται από τη σχέση, [7]

$$C = \frac{\text{Ενεργή Περιοχή Απορροφητή}}{\text{Εμβαδό Σωλήνα}} = \frac{(W - D_o)L}{\pi D_o L} = \frac{(W - D_o)}{\pi D_o} \quad (3.12)$$

Το ενεργειακό ισοζύγιο σε μια στοιχειώδη επιφάνεια  $dx$  του απορροφητή, σε μια απόσταση  $x$  από το εσωτερικό του σωλήνα, δίνει την εξίσωση για ένα σταθερό μήκος, [7]

$$dQ_u = [I_b r_b (W - D_o) \rho \gamma (\tau\alpha)_b + I_b r_b (\tau\alpha)_b - U_l \pi D_o (T_p - T_a)] dx \quad (3.13)$$

όπου,

- $dQ_u$  = ωφέλιμη ηλιακή ενέργεια για ένα μήκος  $dx$
- $\rho$  = ανακλαστικότητα της επιφάνειας του συλλέκτη
- $\gamma$  = παράγοντας παρεμπόδισης της ακτινοβολίας
- $(\tau\alpha)_b$  = μέση τιμή απορροφητικότητας – μεταβιβασιμότητας
- $U_l$  = ολικός συντελεστής απωλειών
- $T_p$  = τοπική θερμοκρασία του απορροφητή
- $T_a$  = θερμοκρασία Περιβάλλοντος

Ο πρώτος όρος στο δεξιό μέλος της εξίσωσης (3.13) αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία που απορροφάται μετά την αντανάκλαση, ενώ ο δεύτερος την απορροφούμενη ακτινοβολία από τον απορροφητή. Ο δεύτερος όρος είναι μικρός σε σύγκριση με τον πρώτο, αλλά δεν μπορεί να αγνοηθεί όταν ο λόγος συγκέντρωσης είναι μικρός. Ο τρίτος όρος αντιπροσωπεύει τη χαμένη από μεταφορά και ακτινοβολία, θερμική ενέργεια.

Κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν που υιοθετείται για έναν επίπεδο συλλέκτη, καθορίζουμε και την απορροφούμενη ισχύ  $S$  ως εξής, [7]

$$S = I_b r_b \rho \gamma (\tau\alpha)_b + I_b r_b (\tau\alpha)_b \left( \frac{D_o}{W - D_o} \right) \quad (3.14)$$

Η εξίσωση (3.13) έτσι γίνεται, [7]

$$dQ_u = \left[ S - \frac{U_l}{C} (T_p - T_a) \right] (W - D_o) dx \quad (3.15)$$

Η ωφέλιμη ηλιακή ενέργεια  $dQ$  μπορεί επίσης να γραφτεί και ως, [7]

$$dQ_u = h_f \rho D_i (T_p - T_f) dx \quad (3.16)$$

$$= \dot{m} C_p dT_f \quad (3.17)$$

όπου  $h_f$  = συντελεστής θερμικής μετάβασης στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, και  $T_f$  = θερμοκρασία ρευστού.

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (3.15) και (3.16) κατά τρόπο τέτοιο ώστε να αποβληθεί η θερμοκρασία  $T_p$  του απορροφητή, λαμβάνουμε [7]

$$dQ_u = F' \left[ S - \frac{U_L}{C} (T_f - T_a) \right] (W - D_0) dx \quad (3.18)$$

όπου το  $F'$  είναι ο συντελεστής απόδοσης του συλλέκτη που καθορίζεται από, [7]

$$F' = \frac{1}{U_L \left[ \frac{1}{U_L} + \frac{D_0}{D_i h_f} \right]} \quad (3.19)$$

Συνδυάζοντας ξανά τις εξισώσεις (3.17) και (3.18), λαμβάνουμε τη διαφορική εξίσωση [7]

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{F' \pi D_0 U_L}{\dot{m} C_p} \left[ \frac{CS}{U_L} - (T_f - T_a) \right] \quad (3.20)$$

Αντικαθιστώντας όπου  $x = 0$  και  $T_f - T_{fi}$  έχουμε την κατανομή της θερμοκρασίας, [7]

$$\frac{\left( \frac{CS}{U_L} + T_a \right) - T_f}{\left( \frac{CS}{U_L} + T_a \right) - T_{fi}} = \exp \left\{ \frac{F' \pi D_0 U_L x}{\dot{m} C_p} \right\} \quad (3.21)$$

Η θερμοκρασία του ρευστού στην έξοδο λαμβάνεται αντικαθιστώντας όπου  $x = L$  και  $T_f = T_{fo}$  στην εξίσωση (3.21). Αντικαθιστώντας και αφαιρώντας και τα δύο πλευρές της προκύπτουσας εξίσωσης κατά μέλη, έχουμε [7]

$$\frac{(T_{fo} - T_{fi})}{\frac{CS}{U_L} + T_a - T_{fi}} = 1 - \exp \left\{ - \frac{F' \pi D_0 U_L L}{\dot{m} C_p} \right\} \quad (3.22)$$

Κατά συνέπεια, η ωφέλιμη ενέργεια είναι [7]

$$\begin{aligned}
 q_u &= mC_p(T_{f0} - T_{f1}) \\
 &= mC_p \left[ \frac{CS}{U_L} + T_a - T_{f1} \right] \left[ 1 - \exp \left\{ -\frac{F' \pi D_0 U_L L}{\dot{m} C_p} \right\} \right] \\
 &= F_R (W - D_0) L \left[ S - \frac{U_L}{C} (T_{f1} - T_a) \right]
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

όπου  $F_R$  είναι ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη που καθορίζεται από τη σχέση, [7]

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{\pi D_0 L U_L} \left[ 1 - \exp \left\{ -\frac{F' \pi d_0 U_L L}{\dot{m} C_p} \right\} \right] \tag{3.24}$$

Η στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη  $\eta_i$ , είναι ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την ακτινοβολία που δέχεται το οπτικό σύστημα και δίνεται από την παρακάτω σχέση, [7]

$$\eta_i = \frac{q_u}{(I_a r_a + I_b r_b) W L} \tag{3.25}$$

Η στιγμιαία απόδοση μπορεί επίσης να υπολογιστεί βάσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έτσι ώστε, [7]

$$\eta_{ib} = \frac{q_u}{I_b r_b W L} \tag{3.26}$$

Ο οπτικός βαθμός απόδοσης  $\eta_o$  του συλλέκτη, είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο συλλέκτη το οποίο απορροφάει ο απορροφητής και δίνεται από τη σχέση, [7]

$$\begin{aligned}
 \eta_o &= \frac{I_b r_b \rho \gamma (\tau \alpha)_b (W - D_o) L + I_b r_b (\tau \alpha)_b D_o L}{I_b r_b W L} = \rho \gamma (\tau \alpha)_b \frac{(W - D_o)}{W} + (\tau \alpha)_b \frac{D_o}{W} \\
 &= \frac{S (W - D_o)}{I_b r_b W}
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

### 3.3.5 Σχέση Μεταξύ Ολικού Συντελεστή Απωλειών και Μεταφοράς Θερμότητας

Σε αυτήν την ενότητα θα δούμε τη διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή ολικών απωλειών  $U_l$ , καθώς και τους συσχετισμούς που απαιτούνται για τον υπολογισμό μεμονωμένων συντελεστών μεταφοράς θερμότητας [7]. Με τον όρο ολικός συντελεστής απωλειών, εννοούμε το άθροισμα των θερμικών απωλειών από τη απορροφητική επιφάνεια του συλλέκτη λόγω ακτινοβολίας και επαφής, από την επιφάνεια του οπίσθιου περιβλήματος και από την επιφάνεια των πλευρικών περιβλημάτων λόγω επαφής [5]. Θεωρούμε το σωλήνα και την γυάλινη κάλυψη ως ένα ενιαίο σύστημα. Έτσι έχουμε, [5]

$$\frac{q_l}{L} = h_{p-c}(T_{pm} - T_c)\pi D_0 + \frac{\sigma \pi D_0 (T_{pm}^4 - T_c^4)}{\left\{ \frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{D_0}{D_a} \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) \right\}} \quad (3.28)$$

$$= h_w(T_c - T_a)\pi D_{co} + \sigma \pi D_{co} \varepsilon_c (T_c^4 - T_{sky}^4)$$

Όπου,

- $q_l/L$  = ποσό χαμένης θερμότητας ανά μονάδα μήκους
- $h_{p-c}$  = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του απορροφητή και καλύμματος του γυαλιού
- $T_{pm}$  = μέση θερμοκρασία του απορροφητή
- $T_c$  = θερμοκρασία καλύμματος

Οι εξισώσεις (6.27) και (6.28) είναι σύνολο δύο μη γραμμικών εξισώσεων για τα άγνωστα  $(q_l/L)$  και το  $T_c$  μετά από την αντικατάσταση των τιμών με  $h_{p-c}$  και  $h_w$ .

### 3.3.6 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας μεταξύ του Απορροφητή και της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης

Ο φυσικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του απορροφητή και της κάλυψης  $h_{p-c}$  για το δακτυλιοειδές διάστημα μεταξύ του οριζόντιου σωλήνα του απορροφητή και της ομόκεντρης κάλυψης υπολογίζεται με τη χρήση μιας σχέσης σύμφωνα με τους Raithby και Hollands. [7]

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.317(Ra^*)^{1/4} \quad (3.29)$$

όπου  $k_{eff}$  = η αγωγιμότητα που ορίζεται ως η θερμική αγωγιμότητα του ακίνητου αέρα (κενού) που βρίσκεται ανάμεσα στο σωλήνα του απορροφητή και της κάλυψης, ο οποίος πρέπει να διαβιβάσει το ίδιο ποσό θερμότητας με τον κινούμενο αέρα, και

$Ra^*$  = τροποποίηση του αριθμού Rayleigh σε σχέση με τον κανονικό, σύμφωνα με τη σχέση

$$(Ra^*)^{1/4} = \frac{\ln(D_{ca} / D_o)}{b^{3/4} \left( \frac{1}{D_o^{3/5}} + \frac{1}{D_{ca}^{3/5}} \right)^{5/4}} Ra^{1/4} \quad (3.30)$$

Η χαρακτηριστική διάσταση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού Rayleigh είναι το ακτινικό κενό  $b$  και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση,  $b = (D_{ca} - D_o)/2$ . Οι ιδιότητες αξιολογούνται για τη μέση θερμοκρασία  $(T_{pm} + T_c)/2$ . Είναι γνωστό ότι η θερμική αγωγιμότητα  $k_{eff}$  δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμική αγωγιμότητα  $k$ .

Η σχέση, μεταξύ του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας  $h_{p-c}$  και της θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να βρεθεί εξισώνοντας τις εκφράσεις για την θερμότητα μεταφοράς ανά μονάδα μήκους. Έτσι έχουμε, [7]

$$\frac{2\pi k_{eff}}{\ln(D_{ca} / D_o)} (T_{pm} - T_c) = h_{p-c} \pi D_o (T_{pm} - T_c) \quad (3.31)$$

$$h_{p-c} = \frac{2k_{eff}}{D_o \ln(D_{ca} / D_o)}$$

Οι περιορισμοί στη χρήση της εξίσωσης (3.29) είναι ότι ο αριθμός  $Ra^*$  πρέπει να είναι μικρότερος από  $10^7$ , και το  $b$  θα πρέπει να είναι μικρότερο από  $0,3 D_o$  [7]

### 3.3.7 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην Εξωτερική Επιφάνεια της Ομόκεντρης Γυάλινης Κάλυψης.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $h_w$  στην εξωτερική επιφάνεια ή κάλυψη (μερικές φορές αποκαλείται συντελεστής μεταφοράς θερμότητας πλάτους) μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της γνωστής σχέσης βασισμένης στα στοιχεία του Hilpert, ο οποίος πραγματοποίησε τα πειράματα στον αέρα που ρέει κάθετα σε σωλήνες διάφορων διαμέτρων σε χαμηλά επίπεδα ελεύθερης τυρβώδους ροής. Τα στοιχεία του Hilpert μπορούν να συσχετιστούν από την εξίσωση, [7]

$$Nu = C_1 Re^n \quad (3.32)$$

όπου

$C_1$  και  $n$  είναι σταθερές που έχουν τις ακόλουθες τιμές.

- Για  $40 < Re < 4000$ ,  $C_1 = 0.615$ ,  $n = 0.466$
- Για  $4000 < Re < 40000$ ,  $C_1 = 0.174$ ,  $n = 0.618$
- Για  $40000 < Re < 400000$ ,  $C_1 = 0.0239$ ,  $n = 0.805$

Η  $D_{co}$  είναι η χαρακτηριστική διάσταση που χρησιμοποιείται στην εξίσωση (3.32). Οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για την μέση θερμοκρασία  $(T_c + T_a)/2$ .

Όπως σημειώνεται νωρίτερα, η εξίσωση (3.32) έχει ληφθεί για χαμηλά επίπεδα έντασης στροβιλισμών. Στην πράξη, η ένταση στροβιλισμών στον αέρα που ρέει πέρα από την κάλυψη μπορεί να είναι σημαντική. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια αστάθεια στην τιμή  $h_w$  και η τιμή που προκύπτει από την εξίσωση (2.32) μπορεί να είναι χαμηλότερη από την πραγματική τιμή κατά 10 ή 15 %. Ευτυχώς, αυτή η αστάθεια έχει επιπτώσεις στην τιμή του ολικού συντελεστή απωλειών μόνο κατά 1 ή 2 %. [7]

### 3.3.8 Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του Απορροφητή.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $h_f$  στην εσωτερική επιφάνεια του απορροφητικού σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί σε περιπτώσεις όπου η ροή έχει αναπτυχθεί πλήρως. Αυτή η υπόθεση δικαιολογείται επειδή ο λόγος μήκους προς τη διάμετρο ( $L/D_i$ ) είναι μεγάλος, συνήθως μεγαλύτερος από 20. Για έναν αριθμό Reynolds μικρότερο του 2000, η ροή είναι στρωτή και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση, [7]

$$Nu = 3.66 \quad (3.33)$$

Αφ' ετέρου, για έναν αριθμό Reynolds μεγαλύτερο του 2000, η ροή είναι τυρβώδης και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση, [7]

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3.34)$$

Η χαρακτηριστική διάσταση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των  $Nu$  και  $Re$  στις εξισώσεις (3.33) και (3.34) είναι η  $D_i$ . Οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για την μέση θερμοκρασία  $(T_{fi} + T_{fo})/2$ . Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις (3.33) και (3.34) ισχύουν επίσης για τον υπολογισμό της τιμής του  $h_f$  και για έναν επίπεδο συλλέκτη.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η παροχή μάζας  $\dot{m}$  είναι μικρή και η ροή είναι στρωτή. Επομένως χρησιμοποιείται η εξίσωση (3.33). Κατά συνέπεια, η τιμή  $h_f$  είναι μερικές φορές τόσο μικρή ώστε να επηρεαστεί αρνητικά η τιμή  $Pr$ . Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν το χρησιμοποιούμενο θερμικό υγρό είναι λάδι. Τέτοιου είδους θερμικά υγρά έχουν υψηλό σημείο βρασμού και χαρακτηρίζονται από τους χαμηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας και τους υψηλούς αριθμούς Prandtl. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί κάποια αυξητική τεχνική για να αυξηθεί ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας. Μια από τις απλούστερες τεχνικές είναι να χρησιμοποιηθεί μια σπειροειδής ταινία πλάτους  $D_i$  τοποθετημένη κατά μήκος του εσωτερικού του απορροφητικού σωλήνα. Οι Hong και Bergles, έχουν προτείνει την ακόλουθη σχέση για αυτήν την περίπτωση. [7]

$$Nu = 5.172 \left[ 1 + 0.005484 \{ Pr(Re/X)^{1/4} \}^7 \right]^{1/5} \quad (3.35)$$

όπου,

$X =$  λόγος της σπειροειδούς ταινίας  $= H/D_i$

και,  $H =$  το μήκος της σπειροειδούς κατά  $180^\circ$  ταινίας.

Η χαρακτηριστική διάσταση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό  $Nu$  και  $Re$  είναι η  $D_i$ .



Υπολογισμοί με την εξίσωση (3.35) έδειξαν ότι η χρήση σπειροειδών ταινιών προκάλεσαν πολύ σημαντικές αυξήσεις στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας όταν ο αριθμός Prandtl είναι υψηλός. Συγχρόνως, η πτώση πίεσης δεν αυξάνεται με την ίδια αναλογία. Η πτώση πίεσης μπορεί να υπολογιστεί από τις ακόλουθες σχέσεις βασισμένες στην μελέτη των Date και Singham. [7]

$$\begin{aligned} f Re &= 38.4(Re/X)^{0.05} \dots\dots \text{για } 6.7 \leq (Re/X) \leq 100 \\ &= C_2(Re/X)^{0.3} \dots\dots\dots \text{για } (Re/X) > 100 \end{aligned} \quad (3.36)$$

όπου  $f$  = ο συντελεστής τριβής,

$$C_2 = 8.8201X - 2.1193X^2 + 0.2108X^3 - 0.0069X^4$$

### 3.3.9 Εμπειρική εξίσωση για τον Ολικό Συντελεστή Απωλειών

Με βάση τους υπολογισμούς για έναν μεγάλο αριθμό περιπτώσεων που καλύπτουν μια ευρύ πεδίο των όρων που αντιμετωπίζονται με τους κυλινδρικούς παραβολικούς συλλέκτες, οι Mullic και Nanda έχουν αναπτύξει μια ημι - εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό του γενικού συντελεστή απωλειών. Αυτή η εξίσωση εξαλείφει την ανάγκη για έναν επαναληπτικό υπολογισμό. [7]

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{C_3(T_{pm} - T_c)^{0.25} + \left[ \sigma(T_{pm}^2 + T_c^2)(T_{pm} + T_c) \left\{ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{D_o}{D_a} \left( \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) \right\} \right]} + \left( \frac{D_o}{D_{co}} \right) \left( \frac{1}{h_w + \sigma \epsilon_c (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)} \right) \quad (3.37)$$

Η σταθερά  $C_3$  έχει ληφθεί από τη σχέση των Rathby και Hollands [7] και δίνεται από την σχέση.

$$C_3 = \frac{17.74}{(T_{pm} + T_c)^{0.4} D_o (D_o^{-0.75} + D_a^{-0.75})} \quad (3.38)$$

Η θερμοκρασία του καλύμματος  $T_c$  δίνεται από [7]

$$\left( \frac{T_c - T_a}{T_{pm} - T_a} \right) = 0.163 \left( \frac{D_o}{D_{co}} \right)^{0.4} h_w^{0.67} \left[ 2 - 3\epsilon_p + \frac{(6 + 9\epsilon_p)T_{pm}}{100} \right] \quad (3.39)$$

Όταν  $333 < T_{pm} < 513 \text{ K}$ , κ καπό

$$\left( \frac{T_c - T_a}{T_{pm} - T_a} \right) = 0.163 \left( \frac{D_o}{D_{co}} \right)^{0.4} h_w^{-0.67} \left[ 2 - 3\epsilon_p + \frac{(1 + 3\epsilon_p)T_{pm}}{100} \right] \quad (3.40)$$

Όταν  $513 < T_{pm} < 623 \text{ K}$

Στις εξισώσεις (3.37)-(3.40), οι  $T_{pm}$ ,  $T_c$  και  $T_a$  εκφράζονται σε Κ. Οι  $D_o$ ,  $D_{ci}$  και  $D_{co}$  σε m, και το  $\sigma$  σε  $W/m^2 \cdot K^4$ , και ο  $h_w$  σε  $W/m^2 \cdot K$ . Η τιμή  $U_L$  λαμβάνεται σε  $W/m^2 \cdot K$ . Η Εξίσωση (3.39), έχει εκφραστεί για τις ακόλουθες περιπτώσεις.

$$0.1 \leq \varepsilon_p \leq 0.95$$

$$0.0125 \leq D_o \leq 0.15 \text{ m}$$

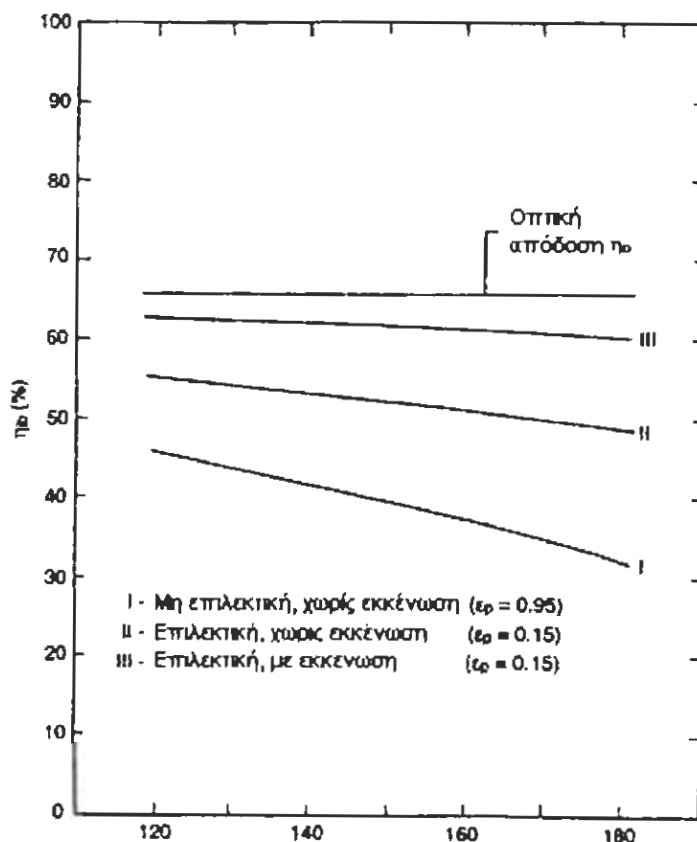
$$15 \leq h_w \leq 60 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$273 \leq T_a \leq 313 \text{ K}$$

Με τις εξισώσεις αυτές έχουμε εκτίμηση της θερμοκρασίας της γυάλινης κάλυψης με απόκλιση  $\pm 10$  °C. Αυτή η εκτίμηση είναι αρκετά καλή για τον υπολογισμό του  $U_L$  από την Εξίσωση (3.39) με ακρίβεια  $\pm 1$  τοις εκατό για  $333 < T_{pm} < 513$  K, και σε μια ακρίβεια  $\pm 2$  τοις εκατό για  $513 < T_{pm} < 623$  K.

### 3.3.10 Επίδραση της Εσωτερικής Θερμοκρασίας στο Βαθμό Απόδοσης.

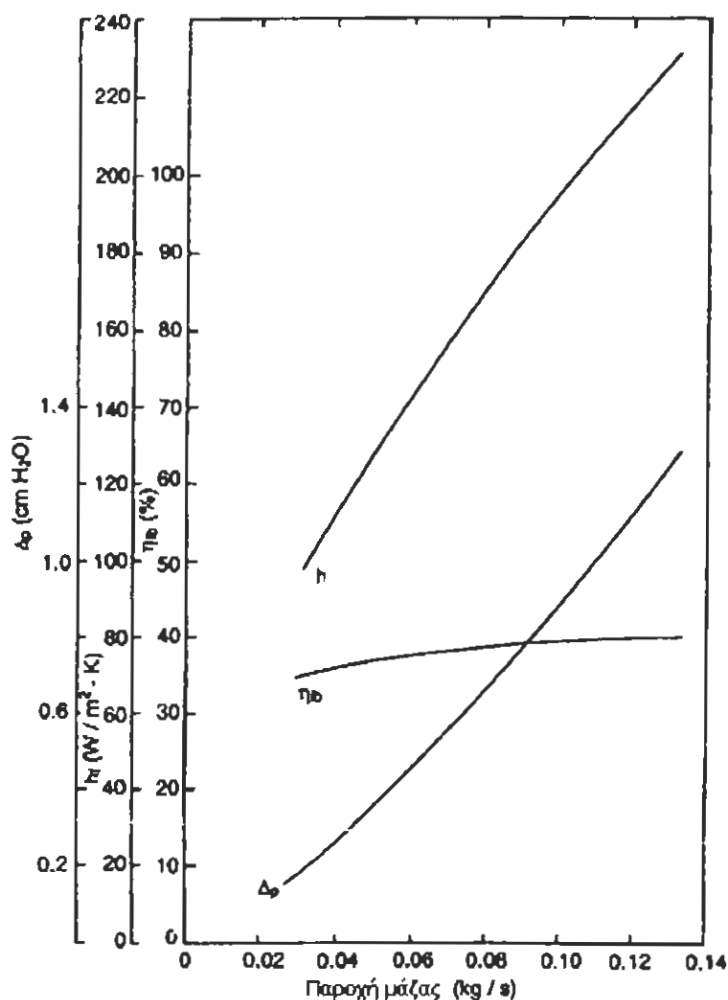
Δεδομένου ότι η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού αυξάνεται, αυξάνεται επίσης και η θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητικού σωλήνα. Κατά συνέπεια, αυξάνονται οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας και λόγω μεταφοράς, με συνέπεια μείωση στην απόδοση. Αυτό είναι προφανές από την εξίσωση (3.23) όπου δίνεται η ωφέλιμη ενέργεια για το συλλέκτη. Προκειμένου να διευκρινιστεί αυτή η επίδραση, γίνονται υπολογισμοί για την περίπτωση ενός παραβολικού συλλέκτη με θερμοκρασία εισόδου που κυμαίνεται από 120 °C ως 180°C. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα (3.4). Φαίνεται ότι η αξία  $\eta_{ib}$  μειώνεται σημαντικά ως προς την  $T_{fi}$ , η μείωση που είναι ελαφρώς μη - γραμμική. Η μη γραμμικότητα οφείλεται στο γεγονός ότι η αξία του γενικού συντελεστή απωλειών αυξάνεται ελαφρώς όπως αυξάνει η  $T_{fi}$ . Η τιμή της οπτικής απόδοσης (που δεν αλλάζει με τη εσωτερική θερμοκρασία) παρουσιάζεται επίσης στο σχήμα (3.4). Η διαφορά μεταξύ των τιμών  $\eta_o$  και  $\eta_{ib}$  είναι η τιμή των απωλειών λόγω ανά- ακτινοβολίας και αγωγής. [7]



Σχήμα. 3.4: Μεταβολή της απόδοσης συναρτήσει της εσωτερικής θερμοκρασίας του ρευστού, για τρεις διαφορετικούς τύπους δέκτη. [7]

### 3.3.11 Επίδραση της Παροχής Μάζας στην Απόδοση του Συλλέκτη.

Μια αύξηση στην παροχή μάζας του θερμικού ρευστού αυξάνει την τιμή του εσωτερικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας  $h_f$ . Λόγω αυτού, ο συντελεστής απόδοσης και ο συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη αυξάνονται και η απόδοση αυξάνεται. Αυτή η επίδραση διευκρινίζεται στο σχήμα (3.5), στο οποίο η παροχή μάζας κυμαίνεται από 0.0329 kg/sec σε 0.1315 kg/sec. Φαίνεται ότι η κλίση της καμπύλης απόδοσης εξακολουθεί να μειώνεται καθώς αυξάνεται η τιμή της  $\dot{m}$  και ότι η απόδοση  $\eta_{ib}$  τείνει σε κάποια ασυμπτωτική τιμή. Συγχρόνως, η πτώση πίεσης αυξάνεται, και έτσι απαιτείται η αύξηση της ισχύος της αντλίας. Ευτυχώς αυτή η αύξηση δεν είναι τόσο γρήγορη λόγω του υψηλού αριθμού Prandtl του ρευστού και της χρήσης σπειροειδούς ταινίας. Κατά συνέπεια, μια βέλτιστη παροχή μάζας  $\dot{m}$  θα ήταν αυτή όπου η ασυμπτωτική τιμή  $\eta_{ib}$  θα επιτυγχάνεται σχεδόν χωρίς μια υψηλή πτώση πίεσης. Στην παρούσα περίπτωση, αυτή η βέλτιστη παροχή θα φαινόταν να βρίσκεται γύρω στα 0.12 kg/sec.



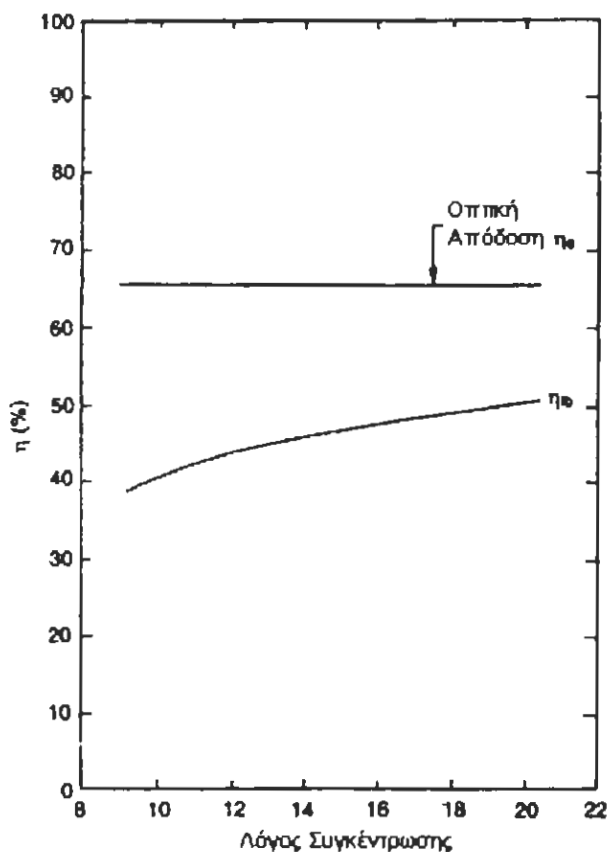
Σχήμα. 3.5: Μεταβολή της Απόδοσης συναρτήσει της Παροχής Μάζας

### 3.3.12 Επίδραση του Συντελεστή Εκπομπής $\epsilon$ της Επιλεκτικής Επιφάνειας του Απορροφητή και του Κενού ανάμεσα στον Απορροφητή και στην Γυάλινη Κάλυψη, στο Βαθμό Απόδοσης.

Από το σχήμα (3.4), είναι εμφανές ότι οι απώλειες λόγω της ακτινοβολίας και αγωγής της θερμότητας είναι πολύ υψηλές. Ο σκοπός στο να μειωθούν ή να κατασταλούν αυτές οι απώλειες θα βοηθούσε προφανώς σημαντικά ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του συλλέκτη. Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας μειώνονται με την χρήση μιας επιλεκτικής επιφάνειας, ενώ οι απώλειες λόγω της αγωγής μειώνονται από την δημιουργία κενού στο δακτυλιοειδές διάστημα μεταξύ του απορροφητικού σωλήνα και της γυάλινης κάλυψης. Η επίδραση της θέσπισης αυτών των μέτρων παρουσιάζεται στο σχήμα (3.4) στο οποίο η μεταβολή του  $\eta_{th}$  συναρτήσει του  $T_{fi}$  παρουσιάζεται για (I) μια επιλεκτική επιφάνεια με  $\epsilon_p = 0.15$  και ένα μη-εκκενωμένο δακτύλιο, και (II) μια επιλεκτική επιφάνεια με  $\epsilon_p = 0.15$  και ένα εκκενωμένο δακτύλιο. Φαίνεται ότι υπάρχει μια σημαντική βελτίωση στην απόδοση και ότι ο ρυθμός μείωσης του  $\eta_{th}$  συναρτήσει του  $T_{fi}$  επίσης μειώνεται. Η αύξηση του  $\eta_{th}$  οφείλεται φυσικά στη μείωση της τιμής  $U_L$ . Για παράδειγμα, για  $T_{fi} = 120$  °C, η τιμή  $U_L$  μειώνεται από 12.28 W/m<sup>2</sup>K σε 6.34 W/m<sup>2</sup>K και 1.65 W/m<sup>2</sup>K αντίστοιχα για τις ανωτέρω δύο περιπτώσεις.

### 3.3.13 Επίδραση του Λόγου Συγκέντρωσης C στην Απόδοση.

Η επίδραση της αύξησης του λόγου συγκέντρωσης με τη μείωση του μεγέθους του απορροφητικού σωλήνα παρουσιάζεται στο σχήμα (3.6). Φαίνεται ότι η απόδοση αυξάνεται. Αυτό το αποτέλεσμα είναι εμφανές από την εξίσωση (3.23). Όταν ο λόγος συγκέντρωσης αυξάνεται χωρίς μείωση στον παράγοντα παρεμπόδισης, η τιμή της οπτικής απόδοσης μεταβάλλεται πολύ ελαφρώς. Εντούτοις, οι απώλειες του απορροφητικού σωλήνα που είναι αντιστρόφως ανάλογες προς το C, μειώνονται και ως εκ τούτου η απόδοση συλλογής αυξάνεται. [7]



Σχήμα. 3.6: Μεταβολή της Απόδοσης συναρτήσει του Λόγου Συγκέντρωσης

## ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

$A_{con}$	Εμβαδό επιφάνειας συλλέκτη [ $m^2$ ]
$b$	Πλάτος απορροφητή [ $m$ ], Ακτινικό διάκενο στον δακτύλιο [ $m$ ]
$C$	Λόγος συγκέντρωσης
$C_p$	Ειδική θερμότητα [ $kJ/kg \cdot K$ ]
$D_{ci}$	Εσωτερική διάμετρος γυάλινου καλύμματος [ $m$ ]
$D_{co}$	Εξωτερική διάμετρος γυάλινου καλύμματος [ $m$ ]
$D_i$	Εσωτερική διάμετρος του σωλήνα [ $m$ ]
$D_o$	Εξωτερική διάμετρος του σωλήνα [ $m$ ]
$F'$	Παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη
$F_R$	Παράγοντας απολαβής
$h_f$	Συντελεστής θερμικής μετάβασης στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα [ $W/m^2 \cdot K$ ]
$h_{p-c}$	Συντελεστής μετάβασης μεταξύ απορροφητικού σωλήνα και γυάλινου καλύμματος [ $W/m^2 \cdot K$ ]
$h_w$	Συντελεστής μετάβασης του αέρα [ $W/m^2 \cdot K$ ]
$H$	Ύψος του CPC [ $m$ ], Ύψος πύργου κεντρικού δέκτη [ $m$ ], Μήκος της στριμμένης κατά $180^\circ$ ταινίας [ $m$ ]
$I_b$	Στιγμιαία / Ωριαία ροή άμεσης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο [ $W/m^2$ ] ή [ $kJ/m^2 \cdot h$ ]
$I_d$	Στιγμιαία / Ωριαία ροή διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο [ $W/m^2$ ] ή [ $kJ/m^2 \cdot h$ ]
$I_T$	Στιγμιαία / Ωριαία ροή στην επιφάνεια ανοίγματος του συγκεντρωτή [ $W/m^2$ ] ή [ $kJ/m^2 \cdot h$ ]
$k$	Θερμική αγωγιμότητα [ $W/m \cdot K$ ]
$k_{eff}$	Αποτελεσματική αγωγιμότητα [ $W/m \cdot K$ ]
$L$	Απόσταση μεταξύ του απορροφητή και του καλύμματος [ $m$ ], Μήκος του συγκεντρωτή [ $m$ ]
$m$	Μάζα [ $kg$ ]
$\dot{m}$	Παροχή μάζας [ $kg/s$ ]
$N$	Αριθμός σωλήνων
$N_u$	Αριθμός Nusselt
$q_l$	Τιμή απωλειών [ $W$ ]
$q_u$	Τιμή ωφέλιμης θερμικής ενέργειας [ $W$ ]
$r_b$	Ποσό στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια
$Ra$	Αριθμός Rayleigh
$S$	Απορροφούμενη ισχύς $W/m^2$
$T_a$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος [ $K$ ]
$T_c$	Θερμοκρασία καλύμματος [ $K$ ]
$T_f$	Θερμοκρασία ρευστού [ $K$ ]
$T_{fi}$	Θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο [ $K$ ]
$T_{fo}$	Θερμοκρασία του ρευστού στην έξοδο [ $K$ ]
$T_p$	Τοπική θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητή [ $K$ ]
$T_{pm}$	Μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητή [ $K$ ]
$T_{sky}$	Θερμοκρασία του ουρανού [ $K$ ]
$U_l$	Ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών [ $W/m^2 \cdot K$ ]
$W$	Απόσταση μεταξύ σωλήνων [ $m$ ], Άνοιγμα [ $m$ ]



## ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

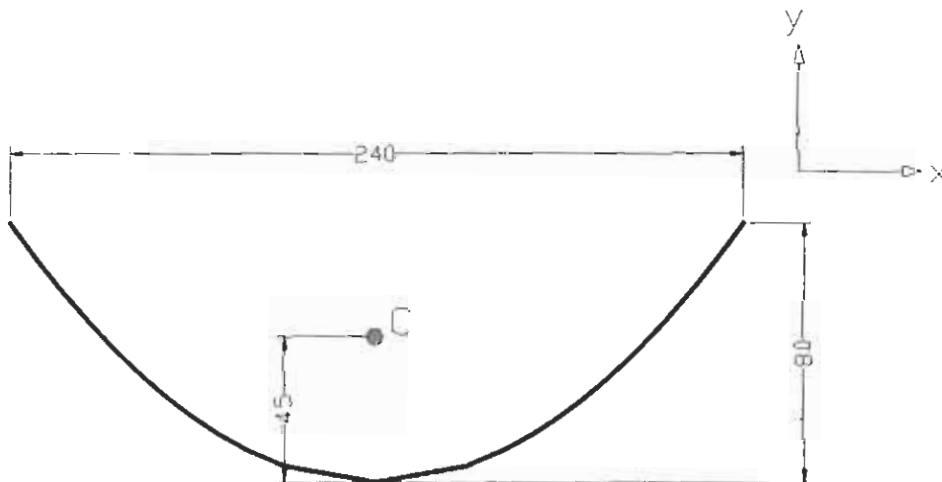
$\alpha$	Συντελεστής απορρόφησης
$\alpha_a$	Γωνία ηλιακού ύψους
$\alpha_v$	Γωνία ηλιακής ανύψωσης (με αναφορά στο οριζόντιο επίπεδο)
$\alpha'_v$	Γωνία ηλιακής ανύψωσης (με αναφορά στο επίπεδο του ισημερινού)
$\beta$	Κλίση συλλέκτη
$\gamma$	Αζιμούθια γωνία συλλέκτη, Παράγοντας παρεμπόδισης
$\gamma_s$	Ηλιακή γωνία αζιμουθίου
$\delta$	Απόκλιση
$\varepsilon_c$	Συντελεστής εκπομπής του καλύμματος για μεγάλο μήκος κύματος ακτινοβολίας
$\varepsilon_p$	Συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας του απορροφητή
$\eta_i$	Στιγμιαία απόδοση
$\eta_{ib}$	Στιγμιαία απόδοση για άμεση ακτινοβολία
$\theta_c$	Το ήμισυ της γωνίας αποδοχής $2\theta_c$ (για CPC)
$\theta_z$	Ζενίθια γωνία
$\rho$	Συντελεστής ανάκλασης, Πυκνότητα [ $\text{kg/m}^3$ ]
$\sigma$	Σταθερά Stefan – Boltzman [ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ]
$(\tau\alpha)_b$	Απορροφούμενη ενέργεια ( Γινόμενο μεταβασιμότητα επί απορροφητικότητα)
$\varphi$	Γεωγραφικό πλάτος
$\varphi_r$	γωνία μεταξύ του άξονα συμμετρίας και του άκρου της παραβολικής επιφάνειας σε παραβολικό συγκεντρωτικό συλλέκτη.
$\psi$	Κλίση του ανακλαστήρα
$\omega$	Ωριαία γωνία
$\omega_t$	Ωριαία γωνία για καθορισμένη ώρα

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ❖ Σύνταξη προγράμματος προσομοίωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε παραβολικό συλλέκτη

Στα πλαίσια της άσκησης αυτής, κρίθηκε σκόπιμη η κατασκευή ενός προγράμματος προσομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο συλλέκτης. Ο ανακλαστήρας δεν είναι τίποτα άλλο από ένα παραβολικό κάτοπτρο. Κατά συνέπεια, η θεωρία που συνοδεύει τον πρόγραμμα αυτό, είναι η παρακάτω:

Δίνεται η παρακάτω παραβολή με τις διαστάσεις της (mm):



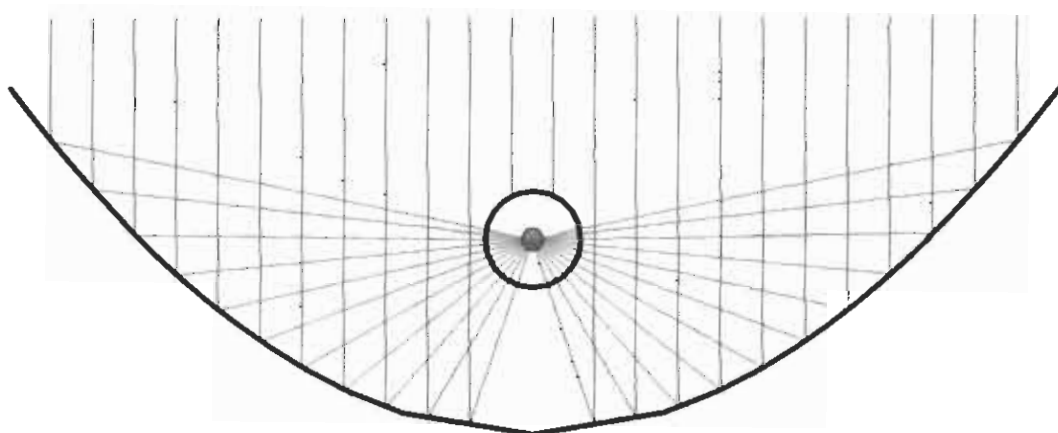
Όπου C το σημείο εστίασης της παραβολής.  
Η εξίσωση που δίνει την παραβολή αυτή είναι:

$$x^2 = 4ay$$

Όπου  $a = 45$

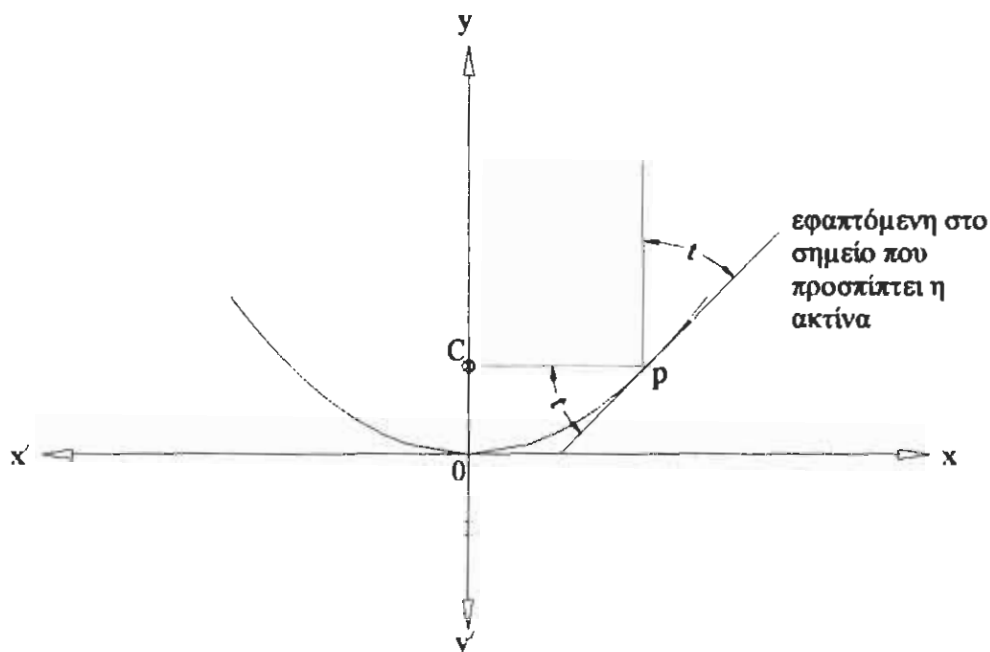
Η παραβολή εκ της ιδιότητάς της, προσφέρει τη δυνατότητα να συγκεντρώνει την ακτινοβολία που προσπίπτει παράλληλα προς τον άξονα συμμετρίας της στο σημείο C όπως το παρακάτω σχήμα:

Η παραβολή εκ της ιδιότητάς της, προσφέρει τη δυνατότητα να συγκεντρώνει την ακτινοβολία που προσπίπτει παράλληλα προς τον άξονα συμμετρίας της στο σημείο C όπως το παρακάτω σχήμα:



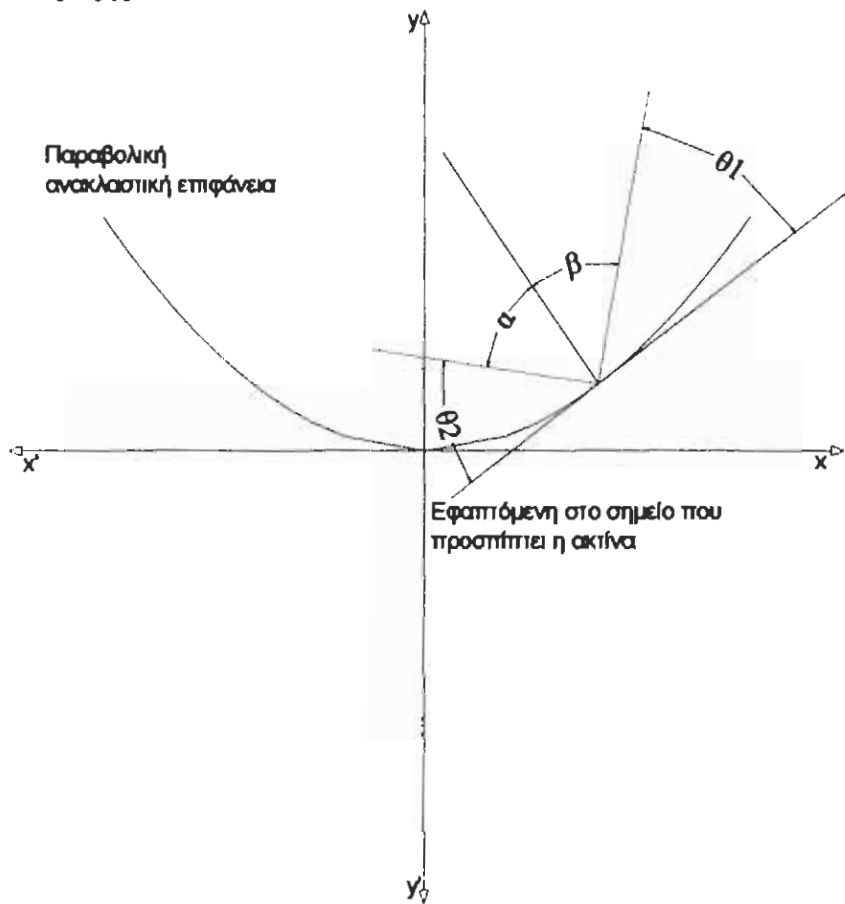
Σχήμα 1: Ιδιότητα της παραβολής σε κάθετη ακτινοβολία. Με πράσινο συμβολίζεται η περιοχή του δέκτη που δέχεται την περισσότερη θερμότητα από ανακλώμενη ακτινοβολία.

**Ιδιότητα παραβολής:** Η ευθεία που ενώνει ένα σημείο  $p$  της παραβολής με το σημείο εστίασης  $C$  σχηματίζει με την εφαπτομένη στο σημείο  $p$  ίση γωνία  $t$  με αυτήν που σχηματίζει η παράλληλη στον άξονα της παραβολής με την ίδια εφαπτομένη.



### ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ SNELL ΓΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΣΕ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

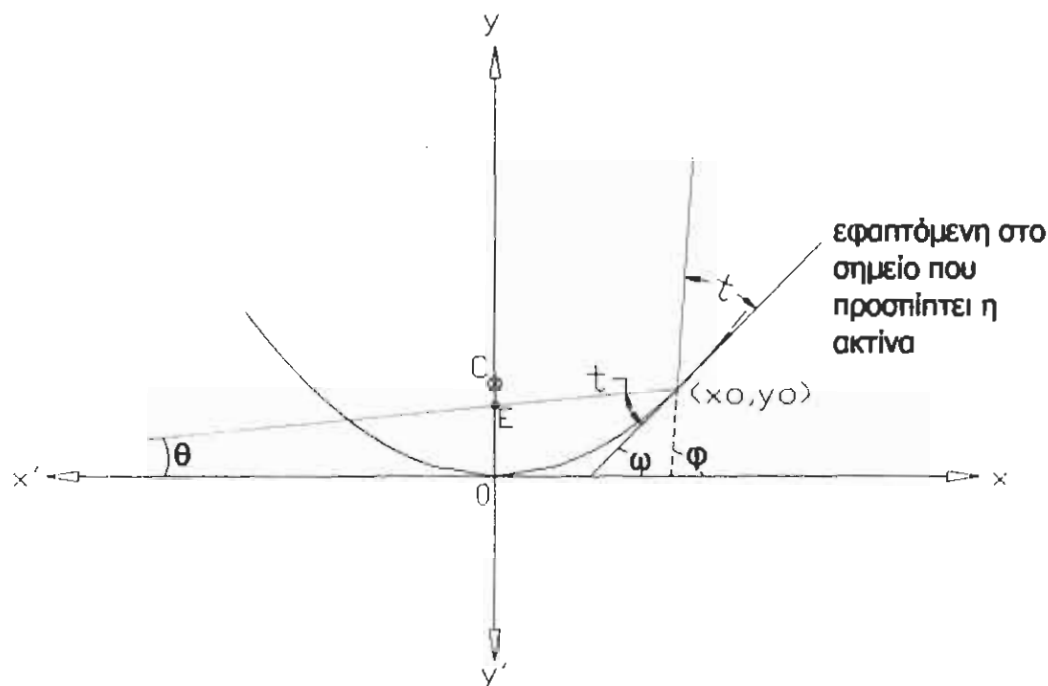
Όταν σε ένα παραβολικό κάτοπτρο προσπίπτει μία ακτίνα υπό γωνία  $\alpha$ , τότε αυτή αντανακλάται ως εξής:



και ισχύει ότι,  
 $a = b$  και,  
 $\theta_1 = \theta_2$

### ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στο παρακάτω σχήμα έχουμε:



Η κλίση της εφαπτομένης στο σημείο  $x_0, y_0$  δίνεται από:

$$m = \tan \omega.$$

Για την εξίσωση της παραβολής ισχύει:

$$x^2 = 4ay \Rightarrow f'(x_0) = \left( y = \frac{x_0^2}{4a} \right)' = \frac{2x_0}{4a} = \frac{x_0}{2a} = m$$

$$\text{Άρα: } m = \frac{x}{2a} = \frac{x_0}{2a}$$

Η εξίσωση που δίνει την εφαπτομένη σε ένα σημείο  $x_0, y_0$  με γνωστή την κλίση  $m$  είναι:

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

Η εφαπτομένη της παραβολής δίνεται από:

$$2a(y - y_0) = x_0(x - x_0)$$

Έστω ευθεία προσπίπτουσα που έχει κλίση  $\tan \varphi$  η οποία σχηματίζει με την εφαπτόμενη, γωνία  $\iota = \varphi - \omega$ . Η προσπίπτουσα αυτή θα ανακλαστεί πάλι με γωνία  $\iota$ . Η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη με τον άξονα  $x x'$  είναι  $\theta$  και  $\theta = \omega - \iota \Rightarrow \theta = \omega - (\varphi - \omega) \Rightarrow \theta = 2\omega - \varphi$ .

Οπότε η εξίσωση της ανακλώμενης είναι:

$$y - y_0 = \tan \theta (x - x_0) \quad 2$$

αυτή θα τέμνει τον άξονα  $y y'$  στο σημείο  $E$  που προκύπτει αν θέσω  $x = 0$  στην 2.

Οπότε

$$\begin{aligned} y - y_0 &= -\tan \theta x_0 \Rightarrow \\ y &= y_0 - x_0 \tan (2\omega - \varphi) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$y = y_0 - x_0 \tan \left[ 2 \left( \tan^{-1} \frac{x_0}{2a} \right) - \phi \right]$$

Εάν  $C (0, a)$  η εστία τότε η απόσταση του  $E$  από το  $C$  είναι:

$$|S| = \left| a - \left[ y_0 - x_0 \tan \left[ \left( 2 \tan^{-1} \frac{x_0}{2a} \right) - \phi \right] \right] \right|$$

- Θέλουμε ένα πρόγραμμα το οποίο να κατασκευάζει μια οποιαδήποτε παραβολή για διάφορα  $(x, y, \alpha)$  και να προσομοιώνει (απεικονίζει) την κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για οποιαδήποτε τιμή γωνίας.

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω γεωμετρική θεωρία της παραβολής, κατασκευάστηκε με το πρόγραμμα **Matlab**, η προσομοίωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και συνεπώς η κατανομή της στην επιφάνεια του συλλέκτη και του απορροφητή. Το πρόγραμμα προσομοιώνει και την δεύτερη ανάκλαση (η οποία φαίνεται με σημεία χρώματος κίτρινου).

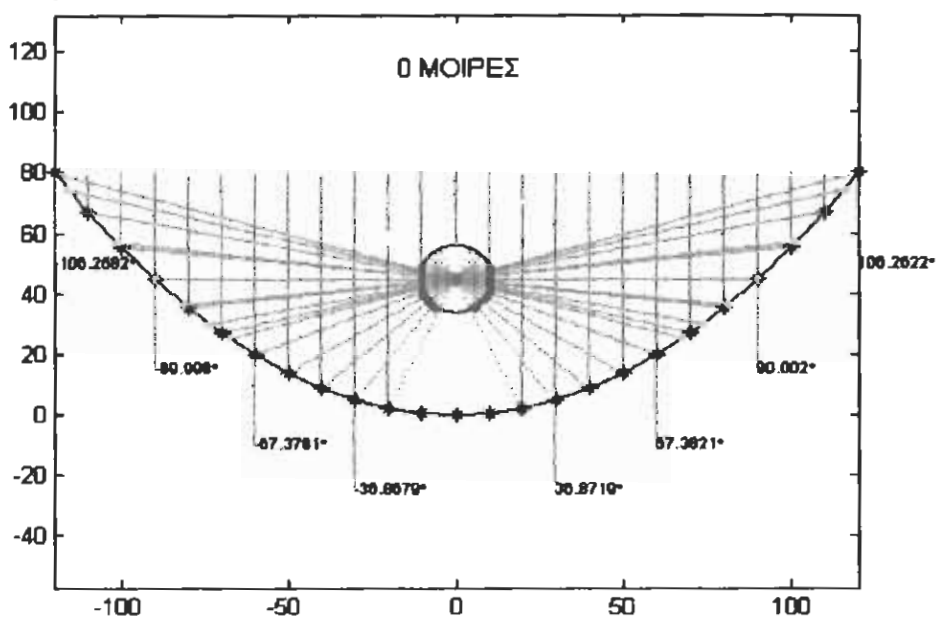
Το πρόγραμμα ξεκινάει ορίζοντας τα δεδομένα που θέλουμε όπως, την εστιακή απόσταση  $\alpha$  σε **mm**, τις μοίρες της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, το άνοιγμα του δέκτη σε **mm** και την διάμετρο του απορροφητή σε **mm**.

Εισάγοντας τα δεδομένα αυτά, το πρόγραμμα ορίζει την παραβολή και το σημείο εστίασης της ακτινοβολίας  $F$ . Κατόπιν, ορίζει τα σημεία πρόσπτωσης των ακτινών επάνω στην παραβολή (στην περίπτωση μας έχουμε ορίσει 25 σημεία, τα οποία φαίνονται με σημεία χρώματος μαύρου). Το πρόγραμμα, αφού προσδιορίσει κάθε φορά τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας από κάθε σημείο, υπολογίζει τη γωνία της επαπτόμενης με τον άξονα  $x'x$  (την  $\omega$ ) και από εκεί την γωνία  $\theta$ , η οποία μας δίνει τελικά την ζητούμενη ανακλώμενη ακτίνα. Αυτό γίνεται σε δυο στάδια, δηλαδή αφού μας δώσει την κατανομή της ακτινοβολίας για το μισό της παραβολής σε πρώτη φάση, στη συνέχεια (με την προτροπή '**click to proceed simulation**') μας δίνει την κατανομή όλων των ανακλώμενων ακτινών καθώς και των ακτινών που θα αντανάκλαστούν για δεύτερη φορά. Οι τιμές που παίρνει κάθε φορά η γωνία  $\theta$ , εκτυπώνονται σε έναν πίνακα. Το πρόγραμμα λειτουργεί και για αρνητικές τιμές της γωνίας πρόσπτωσης.



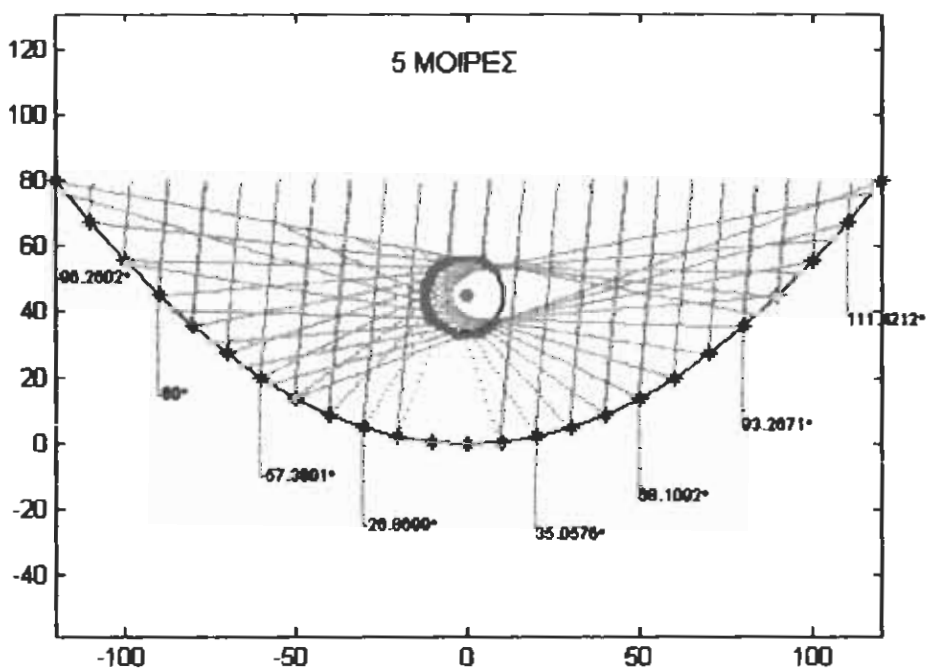
Σε δοκιμές που έγιναν για διάμετρο απορροφητή 22 mm, πήραμε τις παρακάτω προσομοιώσεις:

- Για κάθετη ακτινοβολία ( $0^\circ$ )



Σχήμα 2: Προσομοίωση κάθετης ηλιακής ακτινοβολίας κατά το ηλιακό μεσημέρι.

- Για ακτινοβολία υπό κλίση  $5^\circ$

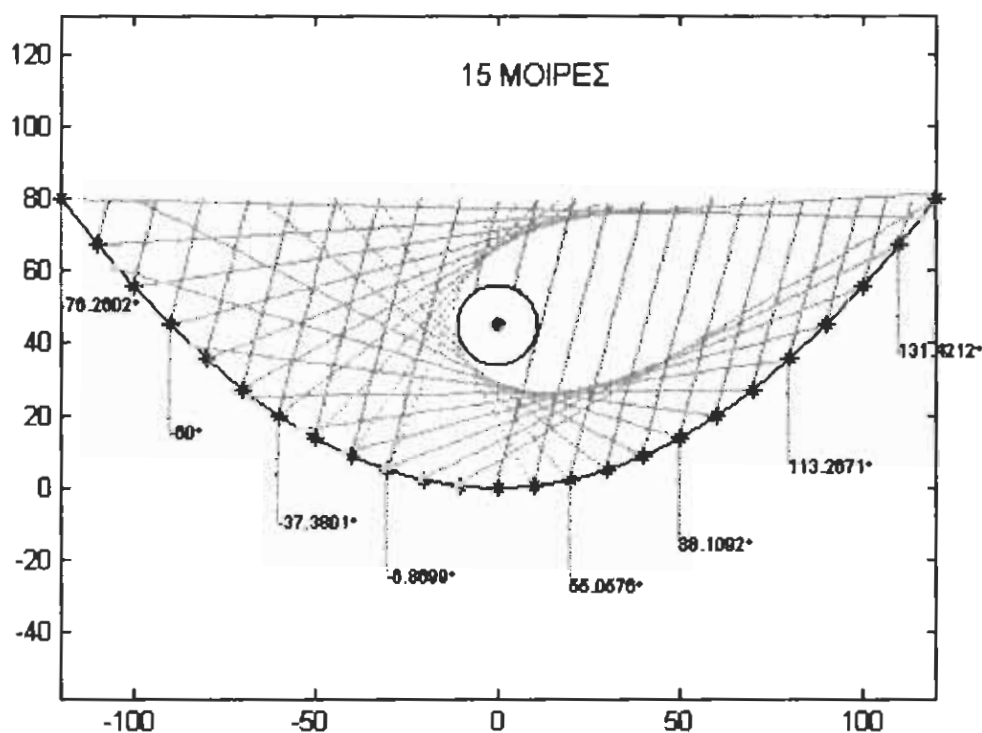


Σχήμα 3: Προσομοίωση ηλιακής ακτινοβολίας με κλίση  $5^\circ$ , δηλαδή 20 λεπτά μετά ηλιακής μεσημβρίας.

Από τις παραπάνω απεικονίσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά όσον αφορά την κατανομή της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του απορροφητή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γωνία με την οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη (και από εκεί στον απορροφητή), λόγω της κίνησης του ηλίου, μεταβάλλεται στην διάρκεια του χρόνου.

Η επιφάνεια του απορροφητή που θα δεχτεί την ακτινοβολία για διαφορετική γωνία κάθε φορά, φαίνεται με χρώμα μπλε στην επιφάνεια του απορροφητή. Η επιφάνεια αυτή μας δίνει να καταλάβουμε πια είναι η επιφάνεια που φορτίζεται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

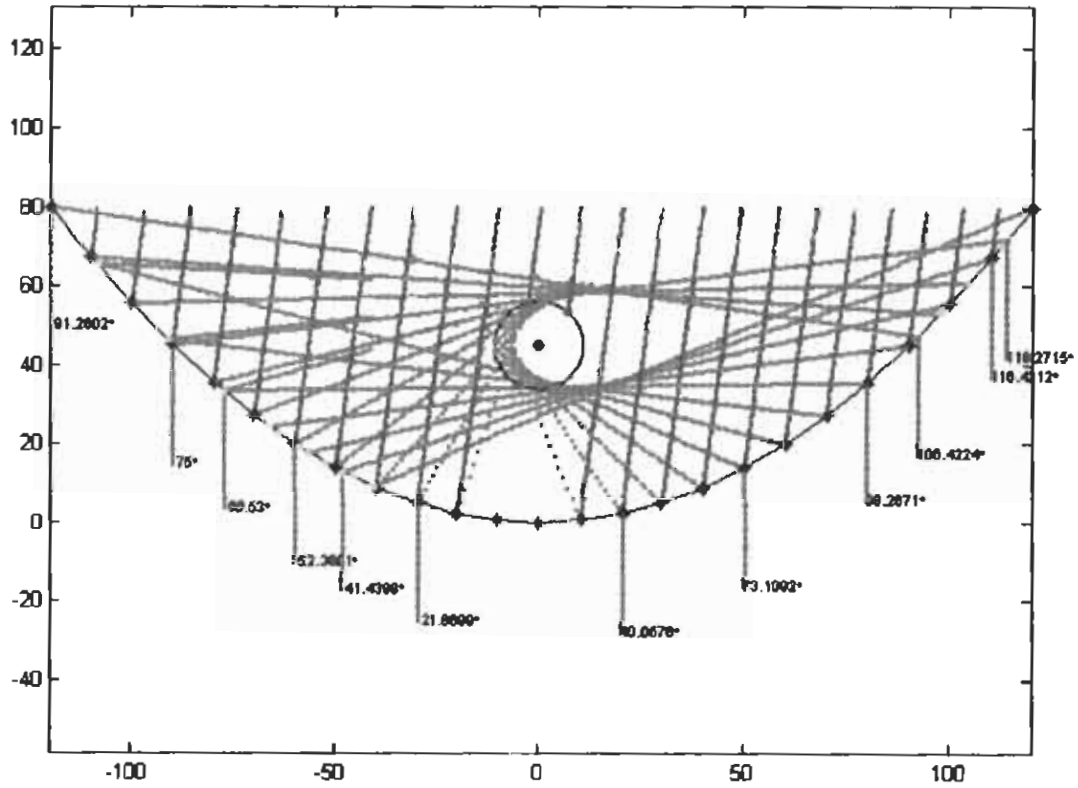
- Για ακτινοβολία υπό κλίση  $15^\circ$



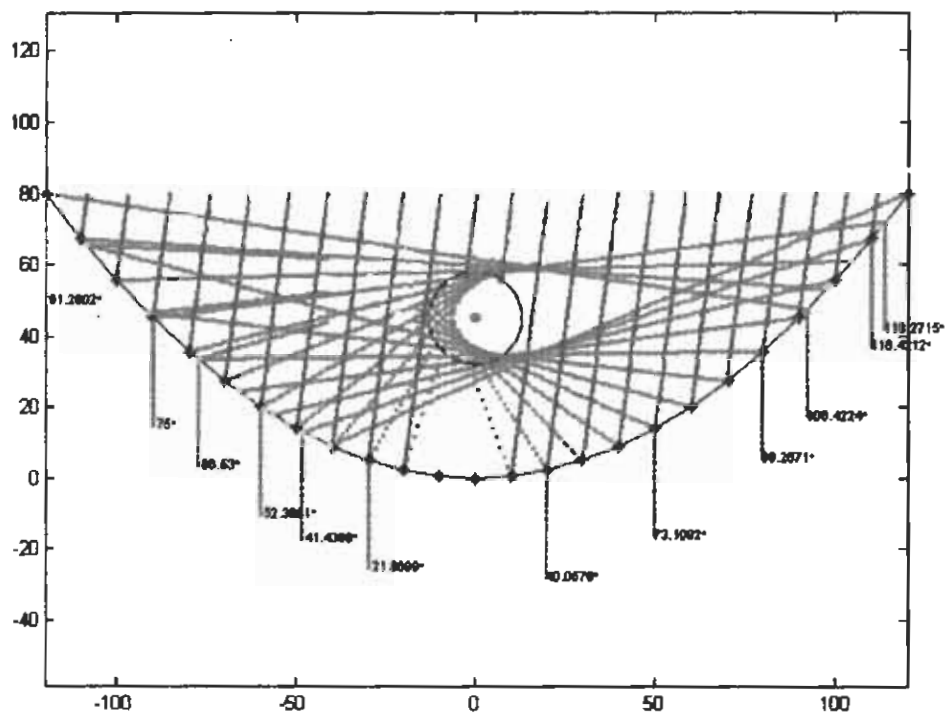
Σχήμα 4: Προσομοίωση ηλιακής ακτινοβολίας με κλίση  $15^\circ$ , 1 ώρα μετά ηλιακής μεσημβρίας.

Επίσης, με το πρόγραμμα αυτό, μπορούμε να αυξομειώσουμε την διάμετρο του απορροφητή και να επιλέξουμε την ιδανικότερη.

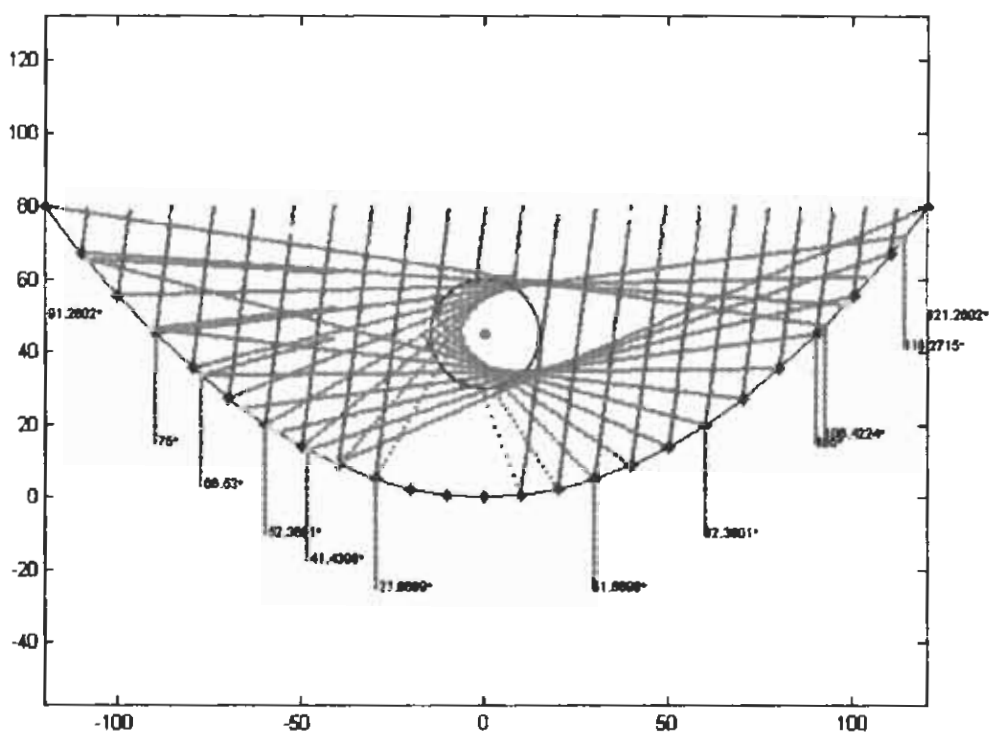
Εδώ, θα θεωρήσουμε ότι η ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία  $7.5^\circ$  (30 λεπτά μετά ηλιακής μεσημβρίας) και θα χρησιμοποιήσουμε διαμέτρους των 22, 26 και 30 mm.



Σχήμα 5: Προσομοίωση ακτινοβολίας με απορροφητή διαμέτρου 22 mm



Σχήμα 6: Προσομοίωση ακτινοβολίας με απορροφητή διαμέτρου 26 mm



Σχήμα 7: Προσομοίωση ακτινοβολίας με απορροφητή διαμέτρου

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

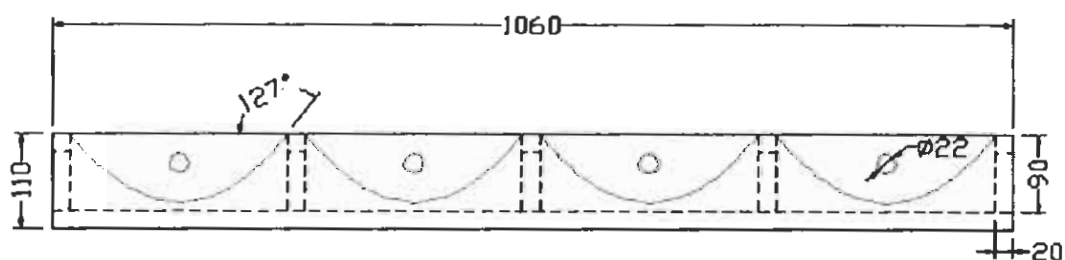
### Στοιχεία κατασκευής παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη

Στο παράρτημα αυτό, παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά στοιχεία του παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη. Πιο αναλυτικά θα δούμε στοιχεία όπως κατασκευαστικά σχέδια, υλικά κατασκευής, τρόπους συναρμολόγησης και διάφορες άλλες πληροφορίες σχετικές με τον συλλέκτη.

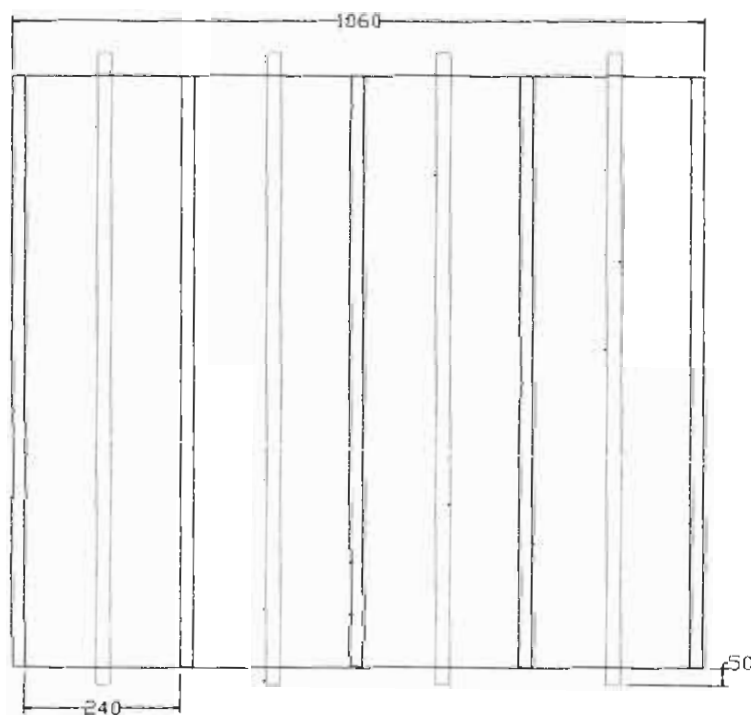
#### Κατασκευαστικά σχέδια

Για την κατασκευή αυτή, προηγήθηκε ο σχεδιασμός του συλλέκτη. Παρακάτω έχουμε:

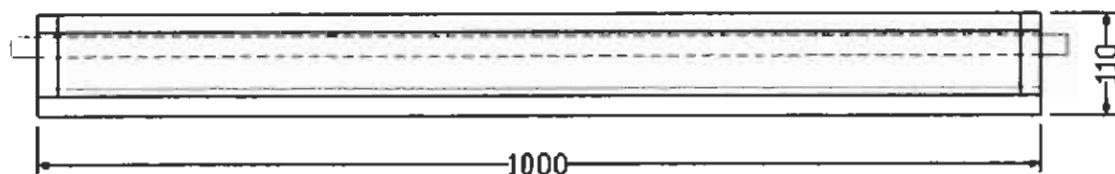
Πρόοψη:



Κάτοψη:



Πλάγια αριστερή:

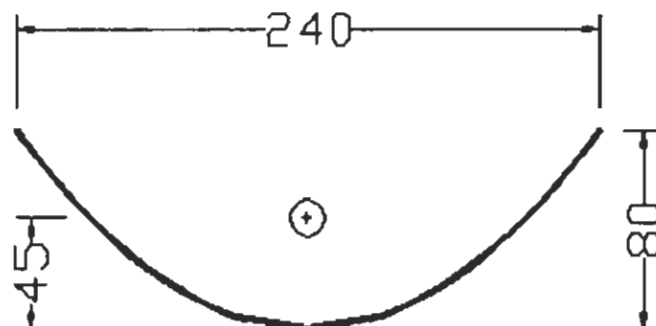


### Κατασκευαστικά στοιχεία

Όπως βλέπουμε και από τα σχέδια, η συσκευή αποτελείται από τέσσερις επιμέρους συλλέκτες, έχει εμβαδό  $1.06 \text{ m}^2$  και το ύψος του είναι 110 mm.

Το κυρίως πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από ηλεκτροσυγκολλημένες στραντζαριστές ράβδους ενισχυμένου τύπου διαστάσεων 20x20 mm.

Η ανακλαστική επιφάνεια είναι στερεωμένη με ήλους (πριτσίνια). Αποτελείται από ανοξείδωτο ίnox υλικό τύπου καθρέφτη με πάχος 0.6 mm και είναι διαμορφωμένο σε σχήμα παραβολής ( $x^2 = 4 \cdot a \cdot y$ ) με τις διαστάσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Ο απορροφητής αποτελείται από χαλκοσωλήνα εξωτερικής διαμέτρου 22 mm και εσωτερικής 19 mm. Επιπλέον είναι καλυμμένος με επιλεκτικό μαύρο ματ χρώμα ανθεκτικό στην θερμότητα. Οι απορροφητές είναι στερεωμένοι στο συλλέκτη με έλασμα από φύλλο λαμαρίνας πάχους 1 mm. Μεταξύ των αγωγών και του ελάσματος, παρεμβάλλεται πλαστικό μονωτικό υλικό.

### Υπολογισμός του λόγου συγκέντρωσης

Από τα κατασκευαστικά σχέδια του συλλέκτη, βλέπουμε ότι το άνοιγμα του είναι 240 mm και η εξωτερική διάμετρος του απορροφητή είναι 22 mm. Οπότε ο λόγος συγκέντρωσης του συλλέκτη που δίνεται από τη σχέση 3.12 είναι, [7]

$$C = \frac{\text{Ενεργή Περιοχή Απορροφητή}}{\text{Εμβαδό Σωλήνα}} = \frac{(W - D_0)L}{\pi D_0 L} = \frac{(W - D_0)}{\pi D_0}$$

Αντικαθιστώντας,

$$C = \frac{240 - 22}{3.14 \cdot 22} = \frac{218}{69.08} = 3.155$$

### Υπολογισμός του ολικού συντελεστή απωλειών

Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 3, η σχέση που δίνει τον συντελεστή ολικών απωλειών είναι:

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{C_3(T_{pm} - T_c)^{0.25} + \left[ \sigma(T_{pm}^2 + T_c^2)(T_{pm} + T_c) / \left\{ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{D_o}{D_{ci}} \left( \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) \right\} \right]} + \left( \frac{D_o}{D_{co}} \right) \left( \frac{1}{h_w + \sigma \epsilon_c (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)} \right)$$

Όπου,

$U_L$  ο ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών [W/m<sup>2</sup>·K]

$T_{pm}$  η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητή. [K]. Υποθέτουμε ότι κυμαίνεται από 333 – 473 K

$T_c$  η θερμοκρασία καλύμματος [K]

$T_a$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος [K]

$\epsilon_p$  ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας του απορροφητή, (0,60)

$\epsilon_c$  συντελεστής εκπομπής του καλύμματος, (0,88)

$D_o$  η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα [m]

$D_{ci}$  η εσωτερική διάμετρος γυάλινου καλύμματος [m].  
Υποθέτουμε  $D_{ci} = 40 \text{ mm} = 0.040 \text{ m}$ .

$D_{co}$  η εξωτερική διάμετρος γυάλινου καλύμματος [m].  
Υποθέτουμε  $D_{co} = 48 \text{ mm} = 0.048 \text{ m}$  [m]

$h_w$  ο συντελεστής μετάβασης του αέρα [W/m<sup>2</sup>·K]

$\sigma$  η σταθερά Stefan – Boltzman [=  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ]

$C_3$  σταθερά με  $C_3 = \frac{17.74}{(T_{pm} + T_c)^{0.4} D_o (D_o^{-0.75} + D_{ci}^{-0.75})}$

$h_f$  συντελεστής θερμικής μετάβασης στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα

Υποθέτουμε πως η ταχύτητα του αέρα που ρέει πάνω στον απορροφητή είναι  $u = 5 \text{ m/sec}$ .

Ο αριθμός Reynolds:

$$Re = u \cdot D / \nu = 5 \cdot 0,048 / 2.094 \cdot 10^{-5} = 11461$$

Για τον αριθμό αυτό, από την παράγραφο 3.3.7 παίρνουμε τον αριθμό Nusselt:

$$Nu = 0.174 \cdot Re^{0.618} = 56.12$$



Έτσι ο συντελεστής μετάβασης του αέρα είναι:

$$h_w = Nu \cdot k/D = 56.12 \cdot 0,0268/0.048 = 31.33$$

όπου  $k$  η θερμική αγωγιμότητα του γυάλινου καλύμματος.

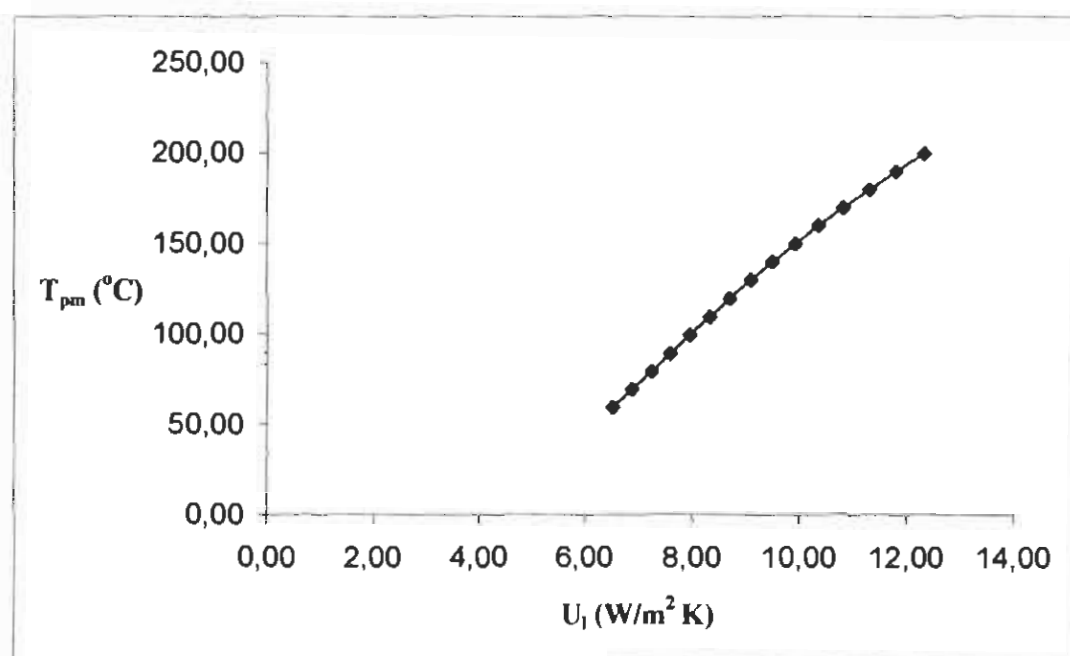
Η θερμοκρασία καλύμματος  $T_c$  υπολογίζεται από τη σχέση (3.39).

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$  λαμβάνεται  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ }^\circ\text{K}$

Μετά τους υπολογισμούς λάβαμε:

Μέση θερμοκρασία απορροφητή $T_{pm}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	Συντελεστής $C_3$	Συντελεστής ολικών απωλειών $U_1$ [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
60	2,22	6,53
70	2,20	6,89
80	2,18	7,25
90	2,16	7,61
100	2,14	7,97
110	2,12	8,33
120	2,11	8,71
130	2,09	9,10
140	2,07	9,51
150	2,05	9,93
160	2,03	10,37
170	2,01	10,83
180	2,00	11,31
190	1,98	11,80
200	1,96	12,33

Η γραφική παράσταση του συντελεστή  $U_i$  συναρτήσει της θερμοκρασίας  $T_{pm}$  είναι:



Από το παραπάνω διάγραμμα επαληθεύεται αυτό που περιμέναμε, δηλαδή για μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία έχουμε μια αύξουσα πορεία των απωλειών. Έτσι βλέπουμε ότι για θερμοκρασία 60°C, αντιστοίχως απώλειες της τάξεως των περίπου 6,53 [W/m<sup>2</sup>·K], προχωρώντας έχουμε για θερμοκρασία 120 °C, 8,71 [W/m<sup>2</sup>·K] και φθάνουμε στους 200 °C αντίστοιχο αριθμό απωλειών μέχρι και 12,33 [W/m<sup>2</sup>·K]. Άρα βλέπουμε και στην πράξη ότι όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του απορροφητή τόσο πιο πολλές είναι και οι απώλειες, πράγμα που συνεπάγεται στη μείωση της απόδοσης του συστήματος!

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 'ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ – Σύγχρονη τεχνολογία-εφαρμογές και οικονομική ανάλυση της δραστηριότητας του κλάδου' - Ν. Α. ΜΥΛΩΝΑ, 1982.
2. 'ΗΛΙΟΤΕΧΝΙΚΗ – Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας' – HANS RAU (Μετάφραση: Νεόφυτος Παπαδόπουλος), 1984.
3. 'ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ', Υπολογισμός και Σχεδίαση Συστημάτων – ΕΥΘΥΜΙΟΣ Η. ΒΑΖΑΙΟΣ, 1987.
4. 'ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ', Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής κατεργασίας – ΑΝΔΡΕΑΣ Ε. ΜΟΣΧΑΤΟΣ , 1992.
5. 'ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ' – Καθ. Δρ. Σ. ΚΑΠΛΑΝΗΣ, Πάτρα 1995.
6. 'SOLAR ENERGY ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES, Second Edition' – DUFFIE, BECKMAN
7. 'SOLAR ENERGY – Principles of thermal collection and storage' – S. P. SUKHATME, Tata- McGraw – Hill, 1996
8. 'ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ' – ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΑΛΕΞΑΚΗΣ, Εκδόσεις Μιχ. Σιδερή.
9. 'CALPAK' – Διαφημιστικά φυλλάδια.
10. 'SOLAR POWER ENGINEERING' – B.S. MAGAL, Tata- McGraw – Hill, 1994.
11. 'SOLAR ENERGY- Compound parabolic concentrator technology development to commercial solar detoxification application' – Vol. 67 Nos. 4 – 6. pp 317 – 330, 1999.

12. 'RENEWABLE ENERGY - Two axis tracking system for solar concentrators' –  
A. K. AGARWAL – Vol. 2 , No. 2, pp. 181 – 182, 1992.
  
13. 'INTERNET' – [www.elke.gr](http://www.elke.gr) , [www.rae.gr](http://www.rae.gr), [www.4m-vk.gr](http://www.4m-vk.gr),  
[www.powerfromthesun.net](http://www.powerfromthesun.net) , [www.squ1.com](http://www.squ1.com)

