

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΒΟΛΟΕΙΔΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΣΟΦΙΑ ΤΡΙΚΚΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**Μάρτιος 2007
Χανιά**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πραγματοποίηση αυτής της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή μου κ. Σωτηρόπουλου Βαγγέλη.

Επίσης ιδιαίτερα σημαντική ήταν και η συνεισφορά του ωρομίσθιου καθηγητή Σαριδάκη Γιώργου, του φοιτητή Ηλεκτρονικής Δολιανίτη Σπύρου, της συμφοιτήτριας μου Καρπουζάκης Μαρίας, του μηχανικού ΜΠΔ Θωμά Κέστη καθώς και του Σχίζα Γιώργου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου Γιώργο και Μαρία Τρίκκα που όλα αυτά τα χρόνια με στηρίζουν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Το κεφάλαιο 1 περιέχει το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, την φασματική κατανομή εκτός ατμόσφαιρας και την εξασθένησή της στην ατμόσφαιρα. Επίσης την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Το κεφάλαιο 2 περιέχει την περιγραφή των μερών του συγκεντρωτικού συλλέκτη και τον δείκτη συγκέντρωσης. Το κεφάλαιο 3 περιέχει την κατηγοριοποίηση των συλλεκτών και τις εγκαταστάσεις αυτών. Υπάρχουν τέσσερις τύποι συλλεκτών : 1) συλλέκτες CPC, 2) επιμήκεις παραβολικοί συλλέκτες, 3) παραβολοειδείς συλλέκτες και 4) συλλέκτες με κεντρικό δέκτη. Το κεφάλαιο 4 περιέχει την αγορά του παραβολικού συγκεντρωτή και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Επίσης την διαδικασία τοποθέτησης της μεμβράνης στον παραβολικό συγκεντρωτή. Το κεφάλαιο 5 περιέχει την πειραματική διαδικασία που έγινε για την εύρεση του σημείου εστίασης του παραβολικού συγκεντρωτή. Επίσης τον πίνακα της πειραματικής διαδικασίας και το διάγραμμα της διαμέτρου του ειδώλου που έχει αποτυπωθεί σε σχέση με την απόσταση από το υποτιθέμενο κέντρο.

Technological Educational Institute of Crete

TITLE

Concentrated Parabolic Solar Collector

Abstract

Chapter 1 includes the spectrum of the solar radiation, the spectrum analysis of the solar radiation out of atmosphere and the attenuation of the solar radiation in the atmosphere. Also the direct, the diffuse and the reflected solar radiation. Chapter 2 includes the description of the parts of the concentrated collector and the ratio concentration. Chapter 3 includes the predicament of collectors and their installations. There are four types of collectors : 1) CPC collectors, 2) solar parabolic through, 3) solar dish/engine and 4) solar power tower. Chapter 4 includes the market of the parabolic concentrator and the geometrical characteristics. Also the placement process of the membrane in paraboloid concentrator. Chapter 5 includes the experimental process that has been done in order to find the focus point of the paraboloid concentrator. Also the table of the experimental process and the diagram of the diameter the impression image in terms of distance from the alleged centre.

STUDENT: TRIKKA SOFIA

SUPERVISOR: SOTIROPOULOS EYAGGELOS

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	3
Abstract.....	4
1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Γενικά	7
1.3 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας.....	7
1.3.1 Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας	8
1.3.2 Εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.....	9
1.4 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία	10
1.5 Τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο	12
1.5.1 Η θέση του άξονα της γης προς το επίπεδο της εκλειπτικής	12
1.5.2 Σχέσεις φωτισμού της γης	13
2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	15
2.1 Ιστορικό.....	15
2.2 Γενικά	15
2.3 Περιγραφή τμημάτων συγκεντρωτικού συλλέκτη	16
2.4 Δείκτης συγκέντρωσης	19
2.5 Μηχανισμός κίνησης και προσανατολισμού.....	21
2.6 Σύγκριση επιπέδων και συγκεντρωτικών συλλεκτών	22
3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	24
3.1 Συλλέκτες τύπου CPC	24
3.1.1 Οπτικά χαρακτηριστικά.....	24
3.2 Συλλέκτες με επιμήκεις παραβολικούς συγκεντρωτές	26
3.2.1 Γενικά	28
3.3 Περιγραφή μιας επιμήκου παραβολικής εγκατάστασης	29
3.3.1 Ολοκληρωμένα ηλιακά συστήματα συνδυασμένου κύκλου	30
3.3.2 Εγκαταστάσεις επιμηκών παραβολικών συγκεντρωτών	30
3.4 Συλλέκτες με παραβολοειδείς συγκεντρωτές	31
3.4.1 Γενικά	32
3.4.2 Περιγραφή συστήματος ηλιακού πιάτου/ μηχανής	33
3.4.2.1 Συγκεντρωτές	34
3.4.2.2 Δέκτες.....	35
3.4.2.3 Μηχανές	36
3.4.3 Εγκαταστάσεις συστήματος παραβολικού πιάτου / μηχανής.....	37
3.4.3.1 Ισπανία.....	37
3.4.3.2 Ηνωμένες Πολιτείες	37
3.4.3.3 Αυστραλία	37
3.4.4 Εφαρμογή παραβολικού συγκεντρωτή σαν «ηλιακό μαγειρείο»	38
3.5 Συλλέκτες με κεντρικό δέκτη	38
3.5.1 Γενικά	39
3.5.2 Περιγραφή εγκατάστασης συστήματος κεντρικού δέκτη.....	39
3.5.3 Εγκαταστάσεις συστημάτων κεντρικού δέκτη.....	41

4. ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗΣ.....	42
4.1 Αγορά παραβολικού συγκεντρωτή.....	42
4.1.1 Κατασκευή - Συναρμογή παραβολικού συγκεντρωτή.....	42
4.1.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά παραβολικού συγκεντρωτή.....	42
4.2 Τοποθέτηση μεμβράνης.....	43
4.2.1 Επιλογή μεμβράνης ανάκλασης.....	43
4.2.2 Διαδικασία τοποθέτησης μεμβράνης.....	44
4.3 Κατασκευή βάσης για έλεγχο σημείου εστίασης.....	46
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	48
5.1 Σκοπός πειραματικής διαδικασίας.....	48
5.2 Διαδικασία αποτυπώσεων.....	48
5.2.1 Διαδοχικές αποκαλύψεις.....	56
5.3 Πίνακας πειραματικής διαδικασίας.....	57
5.3.1 Διάμετρος αποτύπωσης ειδώλου σε σχέση με την απόσταση από το υποτιθέμενο κέντρο.....	60
5.4 Συμπεράσματα.....	62
5.5 Πεδία περαιτέρω διερεύνησης.....	64
Βιβλιογραφία.....	65

1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, καθώς ανά πάσα χρονική στιγμή περίπου 173,000TW ηλιακής ισχύος διασχίζουν τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Παράλληλα, η ηλιακή ενέργεια είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας στον τομέα κάλυψης των θερμικών αναγκών, ενώ η αντίστοιχη τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς επιδιώκοντας να καταστεί πλήρως ανταγωνιστική των συμβατικών πηγών ενέργειας [1].

1.2 ΓΕΝΙΚΑ

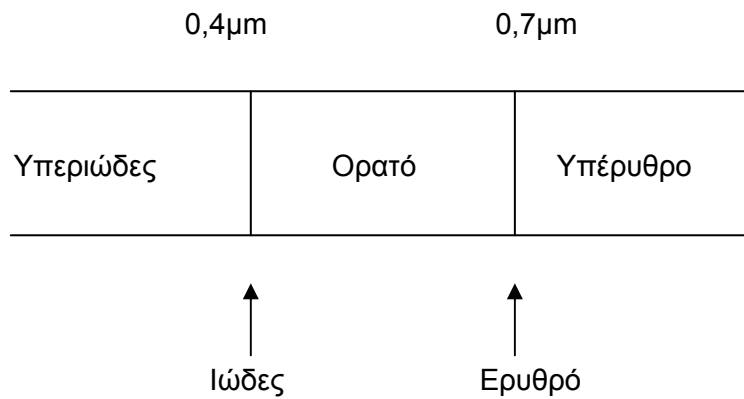
Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του ήλιου. Σαν αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών μεγάλες ποσότητες υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο με τη σύγχρονη ελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας και με συνέπεια την ελάττωση της μάζας του ήλιου που συντελείται με ρυθμό 4.000.000 τόνους το δευτερόλεπτο . Σε αυτά τα ποσά ενέργειας που έφτασαν στη γη κατά το παρελθόν, οφείλεται και η δημιουργία όλων των ποσοτήτων πετρελαίου και άνθρακα που υπάρχουν στο εσωτερικό της γης.

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με ταχύτητα 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο μεταφέροντας ενέργεια στη γη. Όταν γίνει φασματοσκοπική ανάλυση της ακτινοβολίας , εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σε αυτή. Το σύνολο αυτών των χρωμάτων αποτελεί το ηλιακό φάσμα. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μια συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος υπάρχει το κόκκινο χρώμα με μήκος κύματος 0,7μm και στο άλλο άκρο το ιώδες χρώμα με μήκος κύματος για το ιώδες είναι 0,4μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$).

Μεταξύ του κόκκινου και του ιώδους χρώματος περιλαμβάνεται το ορατό ηλιακό φάσμα που αποτελείται από όλα τα γνωστά χρώματα και περιλαμβάνει μόνο τα 44% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας [2] .

1.3 ΦΑΣΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας δεν περιορίζεται μεταξύ του κόκκινου και ιώδους άκρου. Αυτό σημαίνει ότι εκτός από τις ακτινοβολίες της ορατής περιοχής υπάρχουν και ακτινοβολίες αόρατες. Έτσι μετά το άκρο που βρίσκεται το κόκκινο υπάρχει η αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματός μεγαλύτερο των 0,7μm, που αποτελεί τα 50% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος μετά το άκρο του ιώδους χρώματος υπάρχει η αόρατη υπεριώδης ακτινοβολία, με μήκος κύματος μικρότερο των 0,4μm, που αποτελεί τα 6% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1

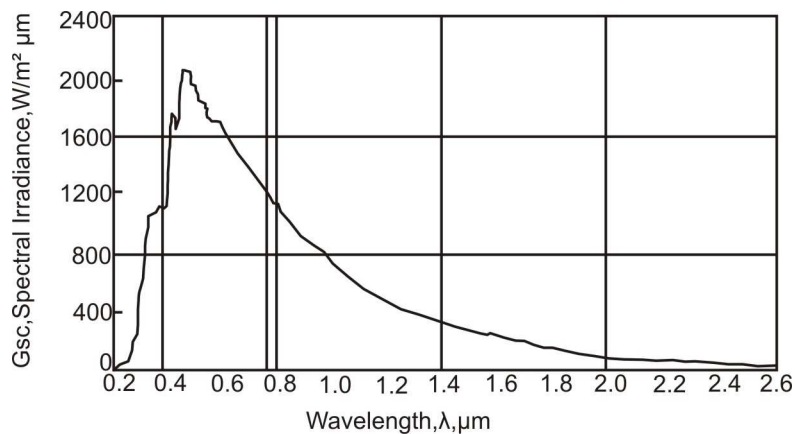
Η υπέρυθη ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή με μήκη κύματος μεγαλύτερα του 0,7μm.

Η υπεριώδης ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή με μήκη κύματος μικρότερα του 0,4μm.

Σύμφωνα με τις πλέον σύγχρονες αναλύσεις, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στα μικρά μήκη κύματος, δηλαδή έως τα 3 με 4μm. Συνεπώς, ακτινοβολία μεγαλύτερη των 4μm ονομάζεται ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι το 99% της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνεται σε μήκη κύματος από 0.25 έως 4μm. Στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας (0.39-0.7μm) περιέχεται το 46.41% της ενέργειας, ενώ στο υπεριώδες (μήκος κύματος < 0.4μm) περιέχεται το 8.03%. Τέλος η φασματική περιοχή του ηλιακού φωτός με μήκος κύματος > 0.77μm περιέχει το υπόλοιπο 45.56% της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

1.3.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Στο σχήμα 1.2 δίνεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά τη μέση απόσταση γης-ήλιου. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος $\lambda < 0.38\mu\text{m}$, $0.38\mu\text{m} < \lambda < 0.78\mu\text{m}$ και $\lambda > 0.78\mu\text{m}$ [3].



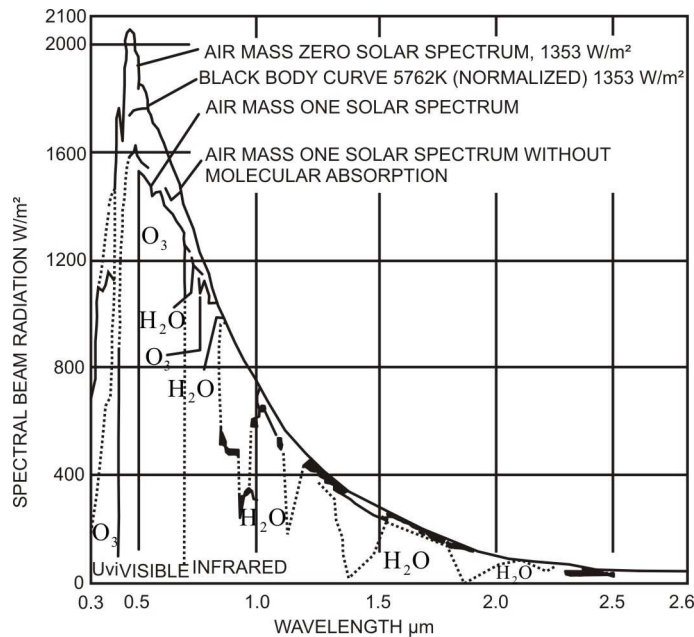
Σχήμα 1.2

1.3.2 ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ηλιακή ακτινοβολία, κατά την διέλευση στην ατμόσφαιρα, υπόκειται σε εξασθένηση αφ' ενός λόγω διασκορπισμού υπό των μορίων του αέρα, του υδρατμού και της σκόνης και αφ' ετέρου λόγω απορρόφησης υπό του O_3 , H_2O , και CO_2 . Από τον διασκορπισμό προκύπτει η διάχυτος ακτινοβολία.

Η απορρόφηση δεν γίνεται ομοιόμορφα αλλά εκλεκτικά κατά ζώνες του φάσματος. Οι ακτίνες X και άλλες πολύ μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες του ηλιακού φάσματος απορροφώνται στην ιονόσφαιρα από το άζωτο, το οξυγόνο και τα άλλα ατμοσφαιρικά συστατικά.

Η απορρόφηση από το O_3 συμβαίνει στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος ως εξής: Γίνεται σχεδόν ολική απορρόφηση για μήκη κύματος $\lambda < 0.29\mu m$ στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυξανόμενου του μήκους κύματος από $0.29\mu m$ μέχρι $0.35\mu m$, η απορρόφηση ελαττώνεται και για $\lambda > 0.35\mu m$ δεν εμφανίζεται απορρόφηση από το O_3 πλην μιας ζώνης περί το μήκος κύματος $\lambda = 0.6\mu m$ (σχήμα 1.3).

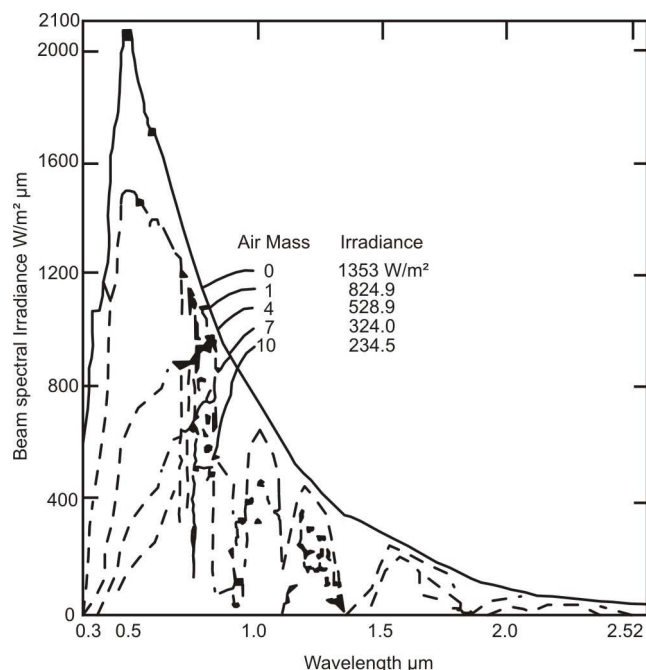


Σχήμα 1.3 Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας (Thekaekara, 1974)

Συγκρίνονται οι καμπύλες στις εξής περιπτώσεις:

- (α) Ηλιακό φάσμα εκτός ατμόσφαιρας (αέριος μάζα $m=0$), $G_{SC}=1353 W/m^2$
- (β) Καμπύλη μελανός σώματος θερμοκρασίας 5762K, ολική ισχύς $1353 W/m^2$.
- (γ) Ηλιακό φάσμα σε $m=1$ (δηλ. στην επιφάνεια της θάλασσας με τον ήλιο στο ζενίθ).
- (δ) Ηλιακό φάσμα σε $m=1$ χωρίς απορρόφηση.

Η απορρόφηση από το H₂O και το CO₂ συμβαίνει στην υπέρυθρο περιοχή του φάσματος κατά ζώνες. Ισχυρή απορρόφηση από το H₂O γίνεται στις ζώνες περί τα μήκη κύματος $\lambda=1.0\mu\text{m}$, $1.4\mu\text{m}$ και $1.8\mu\text{m}$. Για $\lambda>2.3\mu\text{m}$, λόγω απορρόφησης από το H₂O και το CO₂, η ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος είναι ελάχιστη. Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί σημαντικά όσο αυξάνεται η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3, το οποίο παρουσιάζει την φασματική κατανομή της αμέσου ακτινοβολίας για τιμές $m=0,1,4,7$ και 10 . Στο Σχήμα φαίνεται ότι ενώ εκτός ατμόσφαιρας ($m=0$) είναι $G_{SC}=1353 \text{ W/m}^2$, για $m=0$ προκύπτει, για την άμεσο ακτινοβολία, η τιμή $234,5 \text{ W/m}^2$.



Σχήμα 1.4 Φασματική κατανομή της αμέσου ακτινοβολίας για διάφορες τιμές αερίου μάζας σε πολύ καθαρή ατμόσφαιρα με 20mm υδρατμών και 3,4mm O₃. (Υπολογισμοί Thekaekara, 1974).

Η φασματική κατανομή της ολικής ακτινοβολίας εξαρτάται και από την φασματική κατανομή της διαχύτου ακτινοβολίας. Μετρήσεις στην υπεριώδη και την ορατή περιοχή του φάσματος δείχνουν ότι για $0.35\mu\text{m} < \lambda < 0.8\mu\text{m}$ η κατανομή της διαχύτου ακτινοβολίας είναι παρόμοια με της ολικής αλλά με μικρή αύξηση στην περιοχή των μικρότερων μηκών κύματος. Τούτο αναμένεται διότι, σύμφωνα με την θεωρία, περισσότερος διασκορπισμός λαμβάνει χώρα στα μικρά μήκη κύματος. Τελικά, διάφορες θεωρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η κατανομή του σχήματος 1.4 μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση σαν φασματική κατανομή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

1.4 ΑΜΕΣΗ, ΔΙΑΧΥΤΗ & ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη:

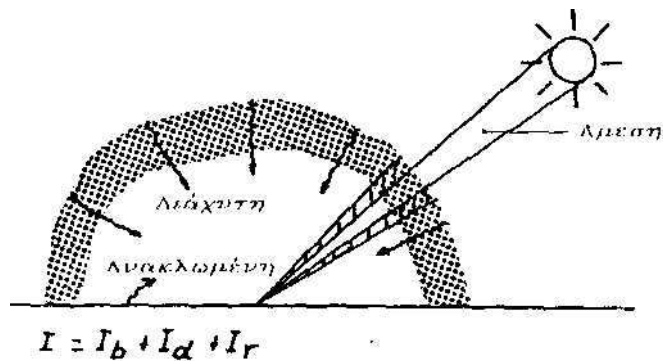
- Την άμεση I_b που έρχεται κατ' ευθείαν από τον ήλιο
- Την διάχυτη I_d που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννιάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας σε άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωμάτια και,

- Την ανακλώμενη I_r που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια, υψώματα ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

Άμεση ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γή κατ' ευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή (σε W/m^2) της άμεσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_b ενώ προκειμένου για κεκλιμένο επίπεδο, με G_{bT} . Για χρονική περίοδο μιάς ώρας ή μιάς μέρας αντί του συμβόλου G χρησιμοποιείται το I και H αντιστοίχως, π.χ. I_b , I_{bT} , H_b , H_{bT} (σε J/m^2).

Διάχυτη ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Συμβολισμός όπως και για την άμεση αλλά με δείκτη d αντί για b .

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες. Συμβολισμοί όπως και στην περίπτωση της άμεσης ή της διάχυτης ακτινοβολίας αλλά χωρίς δείκτη b ή d , π.χ. G είναι η ολική ακτινοβολία του οριζοντίου επιπέδου ενώ G_T του κεκλιμένου[4].



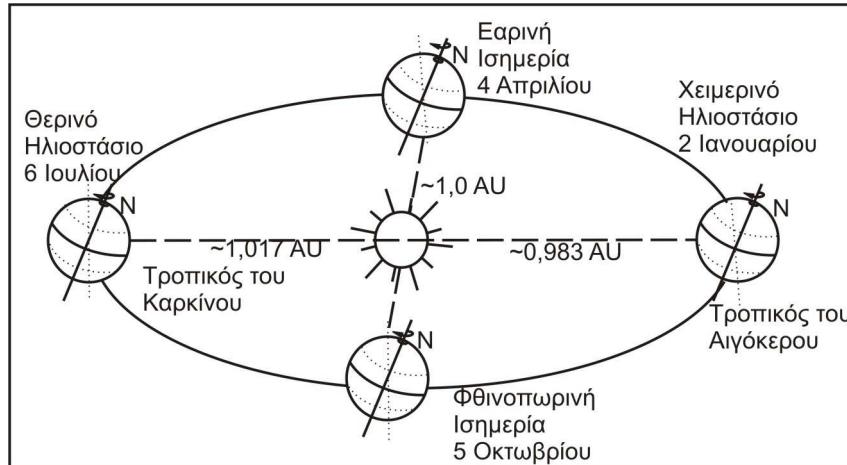
Σχήμα 1.5

Έτσι μπορούμε να γράψουμε: $I = I_b + I_d + I_r$ (1.4.1)

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνητές επιφάνειες, που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Οι Liu και Jordan δέχονται ως δείκτη ανακλαστικότητας του εδάφους 0.2 ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με φρέσκο χιόνι 0.7. Η εξίσωση (1.4.1) απλουστεύεται αν η επιφάνεια είναι επίπεδη, οριζόντια και δεν υπάρχουν κοντά υψώματα ή κτίρια, οπότε $I_r=0$ και κατά συνέπεια: $I = I_b + I_d$ (1.4.2)

1.5 ΤΡΟΧΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Η τροχιά περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική με μικρή εκκεντρότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6. Το αποτέλεσμα της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης είναι η διακύμανση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει ετησίως στην επιφάνεια της γης κατά $\pm 3.4\%$ [1].



Σχήμα 1.6 Ελλειπτική Τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο.

1.5.1 Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΗΣ

Εάν ο άξονας της Γης ήταν κάθετος προς το επίπεδο της τροχιάς της Γης, τότε η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας θα ήταν πάντοτε ίση. Εάν η Γη έστρεφε, κατά την περιφορά της προς τον Ήλιο, σταθερά τον ίδιο πόλο του άξονα της, τότε το ένα ημισφαίριο θα είχε συνέχεια ημέρα και το άλλο συνέχεια νύχτα. Στην πραγματικότητα όμως, η διάρκεια της ημέρας δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, εκτός από τα τμήματα της επιφάνειας της Γης που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό. Ο άξονας της Γης σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής, γωνία $66\frac{1}{2}^\circ$ (σχήμα 1.7). Αυτή η γωνία του άξονα διατηρείται σταθερή κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο, γιατί αυτός κινείται όπως ο άξονας της σβούρας. Ο άξονας μετατοπίζεται, κατά την περιφορά του, παράλληλα προς την εκάστοτε προηγούμενη θέση του.



Σχήμα 1.7 Η γωνία του άξονα της Γης ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής και του Ισημερινού.

Επειδή το επίπεδο του ισημερινού της Γης βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτό του ουράνιου ισημερινού, τα δύο επίπεδα σχηματίζουν με το επίπεδο της γήινης τροχιάς, γωνία $23 \frac{1}{2}^\circ$. Αυτή η γωνία λέγεται λόξωση της εκλειπτικής. Το επίπεδο της τροχιάς της Γης είναι η εκλειπτική. Η πλάγια θέση του άξονα της Γης, ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής, αποτελεί την αιτία για τις διάφορες σχέσεις φωτισμού, κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο.

1.5.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

Το σχήμα 1.8 δείχνει τις διαφορετικές σχέσεις φωτισμού στην αρχή των τεσσάρων εποχών του έτους, στην επιφάνεια της Γης.



Σχήμα 1.8 Σχέσεις φωτισμού της Γης, στην αρχή των τεσσάρων εποχών του έτους.

α) Η διαφορετική διάρκεια της ημέρας. Επειδή η απόσταση του Ήλιου από τη Γη είναι μεγάλη, μπορούμε να δεχτούμε ότι οι ηλιακές ακτίνες, που προσπίπτουν στην επιφάνεια της Γης, είναι παράλληλες. Πάντοτε, το ένα ημισφαίριο της Γης φωτίζεται, ενώ το άλλο σκιάζεται. Η γραμμή της σκιάς, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.8 μετατοπίζεται κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο.

Στις 21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου η γραμμή της σκιάς περνάει από τους δύο πόλους. Η ημέρα και η νύχτα, σ' όλους τους τόπους της επιφάνειας της Γης, έχουν την ίδια διάρκεια (ισημερία), επειδή στις παραπάνω ημερομηνίες το επίπεδο της εκλειπτικής συμπίπτει με το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού. Οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στη ζώνη του ισημερινού (σχήμα 1.8)

Στις 21 Ιουνίου, κλίνει η Γη τον βόρειο πόλο του άξονα της προς τον Ήλιο. Η γραμμή της σκιάς, στο Β. ημισφαίριο, περνάει δυτικά από το Β. Πόλο και ακουμπάει τον πολικό παράλληλο σ' ένα σημείο. Στο Ν. ημισφαίριο, η γραμμή της σκιάς ακουμπάει τον πολικό παράλληλο σ' ένα σημείο ανατολικά από το Ν. Πόλο (σχήμα 1.8). Το επίπεδο της τροχιάς του Ήλιου συμπίπτει με το επίπεδο του βόρειου τροπικού.

Στις 21 Δεκεμβρίου, οι σχέσεις φωτισμού που επικρατούν στο Ν. ημισφαίριο είναι ίδιες με αυτές που επικρατούν στο βόρειο στις 21 Ιουνίου. Η μετακίνηση της γραμμής της σκιάς, στην επιφάνεια της Γης, προκαλεί την άνιση διάρκεια της ημέρας και της νύχτας στη διάρκεια του έτους.

β) Οι εποχές του έτους. Στις 21 Μαρτίου, για τις περιοχές του ισημερινού ο Ήλιος βρίσκεται στο Ζενίθ. Σ' όλες τις άλλες περιοχές, βόρεια και νότια από τον ισημερινό, οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν πλάγια, και μάλιστα από 90° που είναι στον ισημερινό (σχήμα 1.8), η γωνία ελαττώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, και στους πόλους γίνεται 0° . Στις 21 Μαρτίου, ένας παρατηρητής που βρίσκεται στον Β.Π. βλέπει

τον Ήλιο διαρκώς στον ορίζοντα. Στο Β. ημισφαίριο, στις 21 Μαρτίου, έχουμε έναρξη της άνοιξης και στο Ν. ημισφαίριο έναρξη του Φθινοπώρου.

Στις 21 Ιουνίου, για τις περιοχές του βόρειου τροπικού παράλληλου ο Ήλιος βρίσκεται στο Ζενίθ. Το βόρειο πολικό τμήμα μέχρι τον πολικό παράλληλο φωτίζεται σ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Το αντίστοιχο, αντίθετα τμήμα, του νότιου ημισφαιρίου σκιάζεται συνεχώς στη διάρκεια αυτού του 24ώρου. Στο Β. ημισφαίριο αρχίζει το καλοκαίρι και στο Ν. ημισφαίριο ο χειμώνας.

Στις 23 Σεπτεμβρίου, έχουμε τις ίδιες σχέσεις φωτισμού στην επιφάνεια της Γης τις οποίες είχαμε στις 21 Μαρτίου, αλλά σε αντίθετα ημισφαίρια. Στις 21 Δεκεμβρίου, στο Ν. ημισφαίριο επικρατεί η ίδια κατάσταση φωτισμού την οποία είχαμε στο Β. ημισφαίριο στις 21 Ιουνίου.

Η δεσμευόμενη θερμότητα στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται: 1) από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών, 2) από τη διάρκεια της ημέρας και 3) από την απόσταση του Ήλιου από τη Γη. Η απόσταση του Ήλιου δεν έχει ιδιαίτερη πρακτική σημασία, αν σκεφτεί κανείς ότι ο Ήλιος βρίσκεται πιο κοντά στο Β. ημισφαίριο της Γης το Χειμώνα (2 Ιανουαρίου το Περιήλιο). Η διαφορετική διάρκεια του θέρους και του χειμώνα δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για το θερμικό ισοζύγιο των δύο ημισφαιρίων.

2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το 212 Π.Χ., ο Αρχιμήδης λέγεται χρησιμοποίησε καθρέφτες για πρώτη φορά για να συγκεντρώσει την ισχύ των ηλιακών ακτινών. Το 1615 ο Salomon De Caux ανακάλυψε μια μικρή “ηλιακή μηχανή ισχύος”, η οποία ήταν η πρώτη καταγεγραμμένη μηχανική εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας. Η συσκευή του αποτελούνταν από γυάλινους φακούς, ένα στηρικτικό πλαίσιο και ένα αεροστεγή μεταλλικό δοχείο αποτελούμενο από νερό και αέρα. Παραγόταν ένας μικρός κινητήρας νερού όταν ο αέρας ζεσταινόταν και διαστελλόταν κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Το 1860 ο Γάλλος μαθηματικός August Mouchet πρότεινε μια ιδέα για ηλιακές μηχανές ισχύος ατμού. Τις επόμενες δύο δεκαετίες αυτός και ο βοηθός του Abel Pifre, κατασκεύασαν τις πρώτες ηλιακές μηχανές ισχύος και τις χρησιμοποίησαν για μια ποικιλία εφαρμογών. Αυτές οι μηχανές έγιναν οι προκάτοχοι των μοντέρνων συλλεκτών παραβολικών πιάτων για εφαρμογές της συγκεντρωμένης ηλιακής ισχύς. Αυτές οι ανακαλύψεις έδωσαν τα θεμέλια για την μοντέρνα τεχνολογία συγκεντρωμένης ηλιακής ισχύς [5].

2.2 ΓΕΝΙΚΑ

Ο σκοπός όλων των ηλιακών συλλεκτών είναι να συγκεντρώνουν την ενέργεια ακτινοβολίας του ήλιου και να μετατρέπουν όσο το δυνατό περισσότερο από αυτή την ενέργεια σε ωφέλιμη θερμότητα. Σε ένα συγκεντρωτικό συλλέκτη η ενέργεια ακτινοβολίας συμπυκνώνεται οπτικά πριν μετατραπεί σε θερμότητα. Το φως εισερχόμενο σε ένα μεγάλης επιφάνειας άνοιγμα, ανακλάται ή διαθλάται προς ένα σχετικά μικρό στόχο ή δέκτη, όπου μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια συλλέγεται με ένα συμβατικό τρόπο. Ένας επίπεδος συλλέκτης κάνει την ίδια δουλειά, αλλά σε αυτόν η μετατροπή σε θερμότητα γίνεται αμέσως και η θερμότητα και όχι το φως μεταφέρεται στη (συνήθως) μικρότερη περιοχή μέσω της οποίας ρέει το ρευστό απαγωγής.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες αναπτύχθηκαν όχι σαν αποτέλεσμα κάποιου πιο επιθυμητού αποτελέσματος στη συγκέντρωση της ενέργειας ακτινοβολίας, αλλά μάλλον γιατί οι θερμικές απώλειες μπορούν να ελαττωθούν όταν η επιφάνεια που θερμαίνεται στη θερμοκρασία λειτουργίας μειώνεται. Αυτή η μείωση των απωλειών έπειτα καθιστά δυνατό για τον συλλέκτη να θερμάνει το ρευστό σε μια υψηλότερη θερμοκρασία με λογική αποτελεσματικότητα.

Γι' αυτό συνδέουμε τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες με υψηλές θερμοκρασίες, αλλά πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο λόγος γι' αυτή την απόδοση δεν είναι η ίδια η συγκέντρωση, αλλά οι μειωμένες απώλειες, που είναι συνέπεια της συγκέντρωσης.

Υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία συγκεντρωτικών συλλεκτών, πολύ μεγαλύτερη από τους επίπεδους συλλέκτες. Θα ήταν δύσκολο να τους περιγράψουμε όλους. Αντί γι' αυτό θα γίνει γενική περιγραφή των στοιχείων που απαρτίζουν τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες και θα αναφερθούν και λίγοι τύποι συλλεκτών.

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

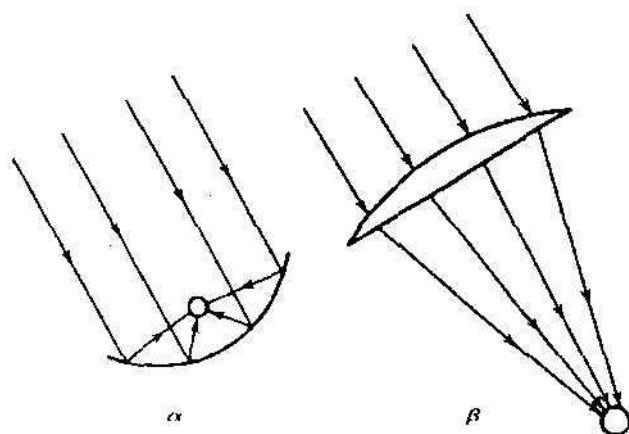
Τα κύρια μέρη του συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι:

- Το οπτικό σύστημα ή συγκεντρωτήρας, που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, τη συγκεντρώνει και την οδηγεί στον δέκτη.
- Ο δέκτης που δέχεται και απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία και αποτελείται από την καλύπτουσα τον δέκτη διαφανή πλάκα, την απορροφητική επιφάνεια και τη μόνωση [4].

Ο δέκτης μπορεί να είναι κυρτός, επίπεδος, κοίλος, καλυμμένος ή ακάλυπτος.

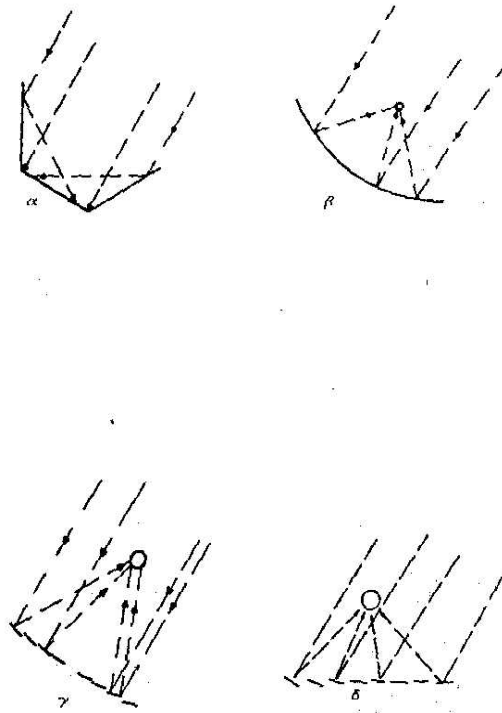
Ο συγκεντρωτής μπορεί να είναι:

1.(α) Ανακλαστικός ή (β) διαθλαστικός (κάτοπτρο ή φακός) (Σχήμα 2.1)



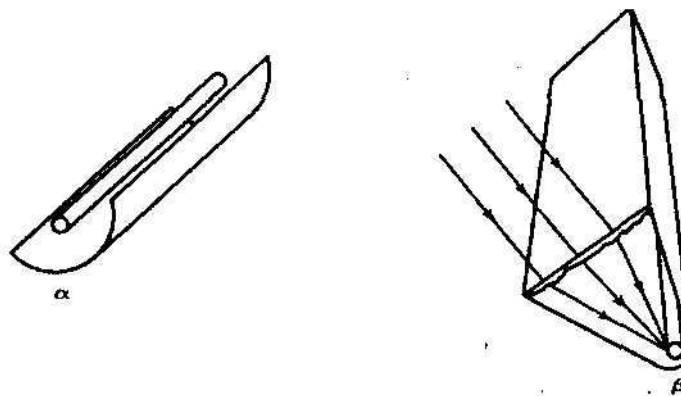
Σχήμα 2.1 Ο συγκεντρωτής μπορεί να είναι (α) ανακλαστικός (β) διαθλαστικός.

2. Επίπεδος, παραβολικός (σχήμα 2.1 (α), (β)) ή να αποτελείται από μια σειρά κινούμενων, ανάλογα με την πορεία του ήλιου επιπέδων, που να συγκεντρώνουν σε ορισμένο σημείο την ηλιακή ακτινοβολία, ή από σειρές ακίνητων επιπέδων που μπορούν να συγκεντρώσουν την μεσημβρινή ηλιακή ακτινοβολία του θερινού ή χειμερινού ηλιοστασίου ενός τόπου σε ένα σημείο (σχήμα 2.2(γ), (δ)).



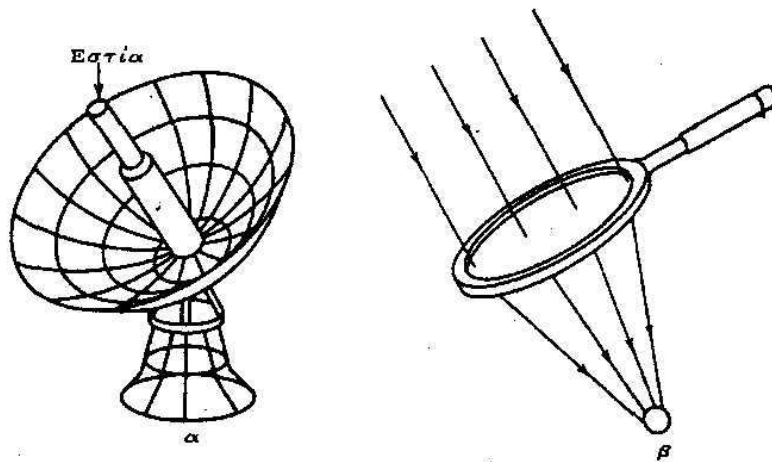
Σχήμα2.2

3. Ευθυογενής καμπύλη επιφάνεια όπως στο σχήμα 2.3, οπότε και ο δέκτης είναι γραμμή δηλαδή επιφάνεια δύο, μικρών σχετικά διαστάσεων



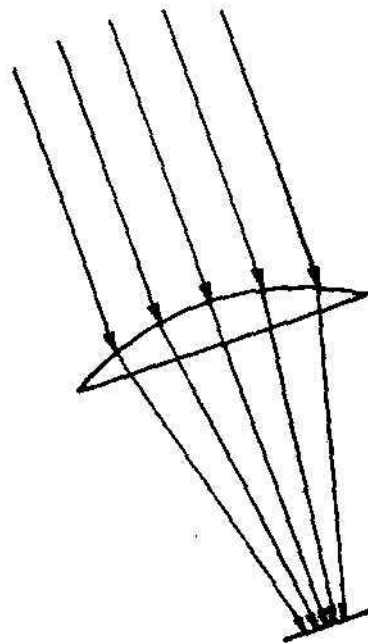
Σχήμα 2.3

ή καμπυλογενής όπως στο σχήμα 2.4, οπότε και ο δέκτης είναι σημείο δηλαδή στην πράξη μικρή σχετικά επιφάνεια τριών διαστάσεων.



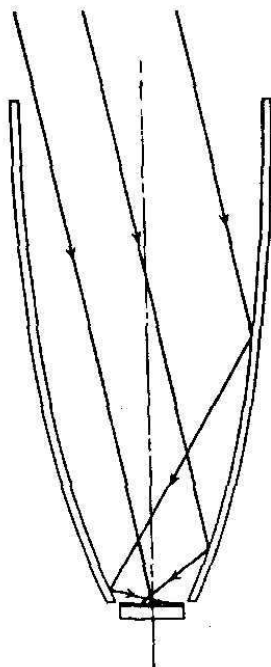
Σχήμα 2.4

4. Τέλος οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι εικονικοί ή ανεικονικοί. Εικονικοί λέγονται οι συλλέκτες που σχηματίζουν το είδωλο του ηλίου στο δέκτη, έστω και παραμορφωμένο (σχήμα 2.5). Ας μη ξεχνάμε ότι ο ήλιος δεν είναι μια σημειακή φωτεινή πηγή αλλά ένας δίσκος που φαίνεται υπό γωνία 0.54° από τη γη πάνω στον ουράνιο θόλο.



Σχήμα 2.5

Ανεικονικοί λέγονται οι συλλέκτες, στους οποίους η άμεση ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και απορροφάται τυχαία από τον δέκτη, έτσι ώστε κανένα είδωλο του ήλιου δεν μπορεί να σχηματιστεί έστω και παραμορφωμένο (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6

2.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

Η μεγάλη αυτή 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 συλλεκτών [3]. Με τον τρόπο αυτό έχουμε δύο πλεονεκτήματα:

- Συλλογή θερμότητας σε υψηλότερες θερμοκρασίες που είναι χρήσιμη σε ορισμένες, κυρίως βιομηχανικές χρήσεις.
- Μείωση, κατά κανόνα, των θερμικών απωλειών της απορροφητικής επιφάνειας, λόγω της δραστηκής μείωσης της σε έκταση.

Το πόσο ακριβώς μειώνεται η απορροφητική επιφάνεια μας το δίνει ο δείκτης συγκέντρωσης, που είναι ο λόγος της επιφάνειας του συγκεντρωτήρα προς την επιφάνεια του δέκτη δηλ.,

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad \text{όπου είναι (2.4.1)}$$

A_a η επιφάνεια του συγκεντρωτήρα και
 A_r η επιφάνεια του δέκτη

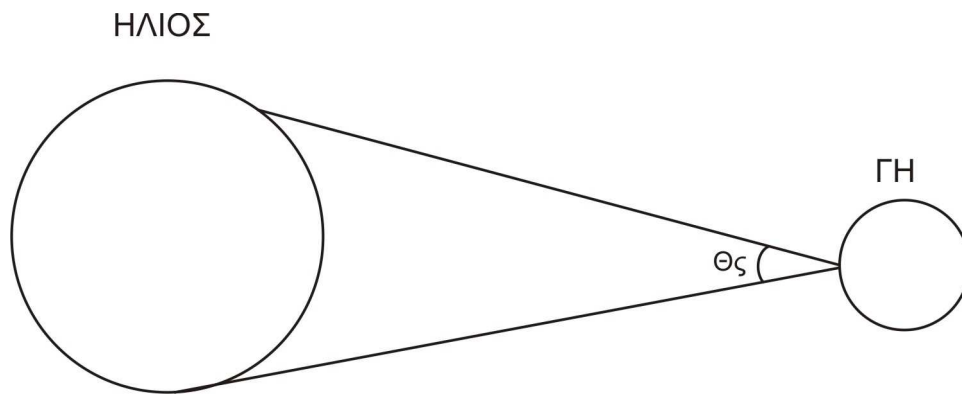
Αποδεικνύεται θεωρητικά ότι για τους συλλέκτες, που έχουν συγκεντρωτήρα ευθυογενή καμπύλη επιφάνεια είναι:

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin(\theta_s / 2)} = 212 \quad (2.4.2)$$

και για καμπυλογενείς επιφάνειες συγκεντρωτήρα,

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin^2(\theta_s / 2)} = 45.000 \quad (2.4.3)$$

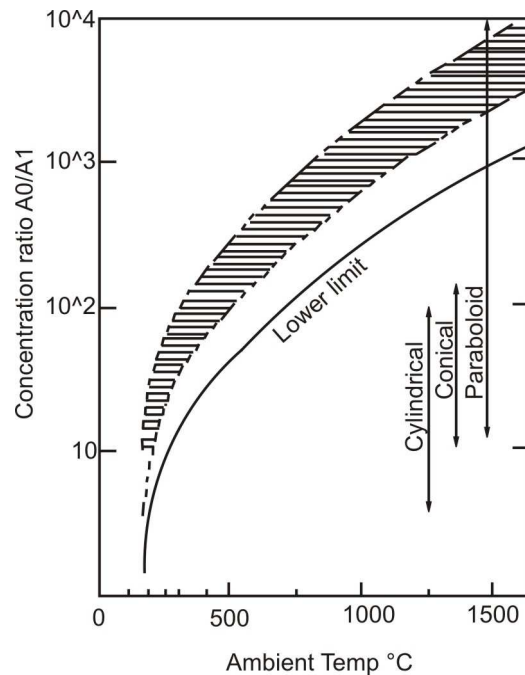
όπου $\theta_s = 0.54^\circ$ είναι η γωνία υπό την οποία φαίνεται ο ήλιος από τη γη (σχήμα 2.7) [4].



Σχήμα 2.7

Ο λόγος αυτός κυμαίνεται στην πράξη από 1.5 μέχρι 10.000. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλώνει ο δείκτης συγκέντρωσης τόσο η θερμοκρασία του δέκτη μεγαλώνει, αλλά και η ακρίβεια κατασκευής και η ποιότητα του οπτικού συστήματος, άρα και το κόστος.

Στο σχήμα 2.8 φαίνεται η σχέση μεταξύ του λόγου συγκέντρωσης και της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας στον δέκτη. Η συνεχής καμπύλη (κατώτατο όριο) δίδει για κάθε τιμή της θερμοκρασίας τον ελάχιστο λόγο συγκέντρωσης, ο οποίος αντιστοιχεί σε θερμικές απώλειες ίσες προς την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια. Συνεπώς για να αποδοθεί ενέργεια απαιτείται τιμή του λόγου συγκέντρωσης μεγαλύτερη της ελαχίστης. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αντιστοιχεί σε βαθμό απόδοσης 40-60% και δείχνει τις συνήθεις περιοχές λειτουργίας. Επίσης φαίνονται οι περιοχές εφαρμογής των διαφόρων τύπων συγκεντρωτών. Το σχήμα 2.6 είναι ενδεικτικό και δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί σαν βάση σχεδιασμού συγκεντρωτικού συστήματος.



Σχήμα 2.8

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, πέρα από τα πλεονεκτήματα που προαναφέραμε έχουν πολλά 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 δηλαδή 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 προσανατολισμού, εφόσον ο συγκεντρωτικός συλλέκτης διαθέτει παρόμοια, πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας και πιστότητας, να επιθεωρούνται και να συντηρούνται τακτικά, γιατί σε περίπτωση βλάβης τους χάνεται χρήσιμη ενέργεια.

2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες αξιοποιείται μόνο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση συλλέκτες χαμηλού λόγου συγκέντρωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται μηχανισμός κίνησης και προσανατολισμού ώστε ο συλλέκτης να παρακολουθεί κατά το δυνατόν την τροχιά του ήλιου στον ουρανό. Έτσι, στα επιμήκη συστήματα αρκεί η περιστροφή του συλλέκτη περί έναν μόνον άξονα, ώστε ο ήλιος να ευρίσκεται πάντα στο κεντρικό επίπεδο του συγκεντρωτή, δηλαδή στο επίπεδο που ορίζει ο εστιακός άξονας με τον άξονα κορυφών. Στα κυκλικά συστήματα απαιτείται κίνηση περί δύο άξονες, έτσι ώστε ο ήλιος να ευρίσκεται πάντα στην ευθεία που ορίζει η εστία και η κορυφή του κατόπτρου. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο κινούμενο επίπεδο του ανοίγματος του συλλέκτη υπολογίζεται για τις συνηθέστερες περιπτώσεις κίνησης από τις εξισώσεις:

α) Για επίπεδο στρεπτό περί οριζόντιο άξονα διεύθυνσης ανατολής-δύσης με μία μόνο ημερήσια ρύθμιση έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες να είναι κάθετες στο επίπεδο κάθε μεσημέρι:

$$\cos \theta = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos \omega \quad (2.5.1)$$

β) Όπως στην προηγούμενη περίπτωση αλλά με συνεχή ρύθμιση ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης:

$$\cos \theta = (1 - \cos^2 \delta \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (2.5.2)$$

γ) Για επίπεδο στρεπτό περί οριζόντιο άξονα διεύθυνσης βορρά-νότου με συνεχή ρύθμιση ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης:

$$\cos \theta = [(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega)^2 + \cos^2 \delta \sin^2 \omega]^{1/2} \quad (2.5.3)$$

δ) Για επίπεδο στρεπτό περί άξονα παράλληλο προς τον άξονα της γης με συνεχή ρύθμιση:

$$\cos \theta = \cos \delta \quad (2.5.4)$$

ε) Για επίπεδο στρεπτό περί δύο άξονες με συνεχή ρύθμιση ώστε να είναι συνεχώς κάθετο στις ηλιακές ακτίνες, προφανώς ισχύει:

$$\cos \theta = 1 \quad (2.5.5)$$

Ο μηχανισμός του συλλέκτη μπορεί να παρέχει συνεχή ή σχεδόν συνεχή ρύθμιση ώστε ο συλλέκτης να παρακολουθεί την ανά ώρα μετατόπιση του ήλιου στον ουρανό. Για ορισμένους επιμήκεις συλλέκτες χαμηλού λόγου συγκέντρωσης είναι επαρκής η ρύθμιση κατά διαστήματα, π.χ. ανά εβδομάδα ή μήνα. Στους χαμηλούς λόγους συγκέντρωσης ο μηχανισμός προσανατολισμού μπορεί να είναι χειροκίνητος ενώ για συλλέκτες με μεγάλη συγκέντρωση απαιτούνται αυτοματοποιημένα συστήματα προσανατολισμού. Η λειτουργία αυτών βασίζεται σε ανιχνευτικό στοιχείο το οποίο "εντοπίζει" τον ήλιο στον ουρανό, ή σε σύστημα προγραμματισμένης κίνησης ή σε μικτό σύστημα στο οποίο η προγραμματισμένη κίνηση υπόκειται σε λεπτομερείς διορθώσεις από το ανιχνευτικό στοιχείο.

2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτινών ίση με την επιφάνεια απορρόφησης αυτών.
2. Λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες <150 °C.
3. Μεγάλο ποσοστό απωλειών, χαμηλή θερμική απόδοση.
4. Αξιοποίηση άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας.
5. Όχι μεγάλες απαιτήσεις για την αντοχή και ποιότητα των υλικών.
6. Απλουστευμένη τεχνολογία και κατασκευή.
7. Όχι κινούμενα μέρη για να παρακολουθούν τον ήλιο.
8. Χαμηλό κόστος κατασκευής.
9. Μικρό κόστος συντήρησης.
10. Όχι μεγάλη ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Επιφάνεια συλλογής των ακτίνων πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησης (συγκέντρωση ακτίνων).
2. Λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες > 200 °C.
3. Μικρότερες απώλειες, υψηλότερη θερμική απόδοση.
4. Αξιοποίηση μόνο άμεσης ακτινοβολίας.
5. Απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.
6. Υψηλή τεχνολογία και πολύπλοκη κατασκευή.
7. Απαιτούνται πολύπλοκοι και ακριβείς μηχανισμοί ώστε να παρακολουθεί το σύστημα τον ήλιο κατά την κίνησή του.
8. Υψηλό κόστος κατασκευής.
9. Μεγάλο κόστος συντήρησης.
10. Ευπάθεια των μεγάλων εγκαταστάσεων στους ανέμους, χαλάζι, κλπ.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

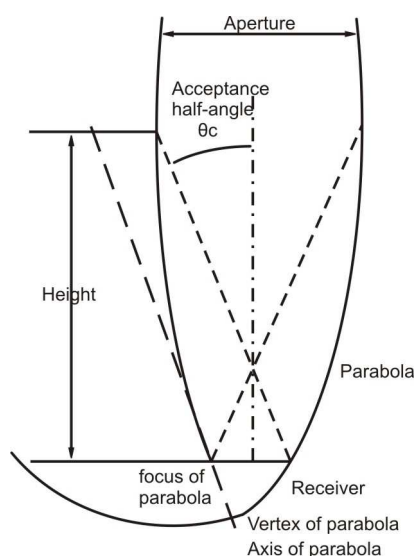
3.1 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΤΥΠΟΥ CPC

Οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές (Compound Parabolic Concentrators, CPC) ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτών χωρίς είδωλο. Αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία (συμπεριλαμβανομένης και της διάχυτου) που προσπίπτει υπό ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης και συνεπώς έχουν ελάχιστες απαιτήσεις κίνησης για την παρακολούθηση του ήλιου. Επιτυγχάνουν μικρούς λόγους συγκέντρωσης [3].

3.1.1 ΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι CPC συναντώνται συνήθως υπό επιμήκη (δισδιάστατη) μορφή “τύπου σκάφης”. Θεωρητική ανάλυση έχει γίνει και για τους τρισδιάστατους συγκεντρωτές αυτού του είδους αλλά παρακάτω θα εξετασθούν μόνο οι επιμήκεις CPC, οι οποίοι παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον. Όπως φαίνεται στην τομή του σχήματος 3.1, κάθε πλευρά του CPC είναι τμήμα παραβολής. Στο σχήμα έχει σχεδιαστεί ο άξονας, η εστία και η κορυφή μόνο της δεξιάς παραβολής. Και οι δύο παραβολικές επιφάνειες εκτείνονται μέχρι να γίνουν παράλληλες προς τον άξονα συμμετρίας του CPC. Η γωνία που σχηματίζεται από τον άξονα του CPC και την ευθεία που συνδέει την εστία της μίας παραβολής με το απέναντι άκρο του ανοίγματος, ονομάζεται ημιγωνία αποδοχής, θ_c . Αν οι παραβολικές ανακλαστικές επιφάνειες είναι (οπτικά) τέλειες, τότε η ακτινοβολία που εισέρχεται στο άνοιγμα υπό γωνία θ , έτσι ώστε

$-\theta_c < \theta < \theta_c$, ανακλάται προς τον δέκτη, ο οποίος ευρίσκεται στη βάση του CPC. Για $\theta < -\theta_c$ ή $\theta > \theta_c$, η ακτινοβολία δεν φτάνει στον δέκτη.



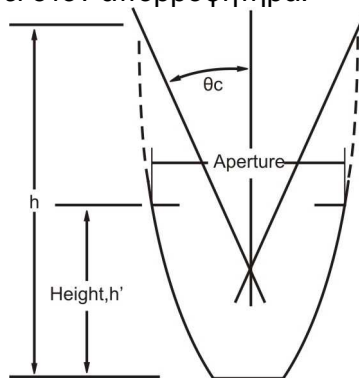
Σχήμα 3.1 Συμμετρικός CPC σε τομή.

Μπορεί να αποδειχθεί ότι για έναν (οπτικά) τέλειο επιμήκη CPC, ο λόγος συγκέντρωσης δίδεται από την σχέση:

$$C_i = \frac{1}{\sin \theta_c} \quad (3.1.1)$$

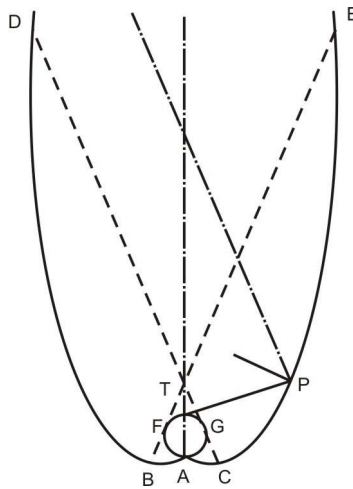
Τα άνω άκρα των παραβολικών πλευρών του CPC συνεισφέρουν ελάχιστα στην ανάκλιση της ακτινοβολίας προς τον δέκτη και συνεπώς μπορούν να αποκοπούν, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Έτσι το ύψος του CPC μειώνεται από h σε h' με ελάχιστη μείωση στην απόδοση, αλλά σημαντική μείωση στο κόστος κατασκευής. Η αποκοπή των άνω άκρων :

- (1) δεν μεταβάλλει την ημιγωνία αποδοχής
- (2) μεταβάλλει το λόγο του ύψους προς το άνοιγμα
- (3) μεταβάλλει το λόγο συγκέντρωσης
- (4) μεταβάλλει το μέσο αριθμό ανακλάσεων που υφίσταται η ακτινοβολία μέχρι να φθάσει στον απορροφητήρα.



Σχήμα 3.2 Συμμετρικός CPC με αποκομμένα άκρα σε τομή.

Ο CPC μπορεί να έχει δέκτη μη επίπεδο. Στο σχήμα 3.3 δίδεται παράδειγμα με κυλινδρικό δέκτη, στο οποίο φαίνεται και ο τρόπος γένεσης του σχήματος της ανακλαστικής επιφάνειας που απαιτείται για τον δέκτη αυτό. Έτσι, στο τυχόν σημείο P της επιφάνειας CE πρέπει η κάθετος στο κάτοπτρο να διχοτομεί τη γωνία που σχηματίζει η εφαπτομένη στον απορροφητήρα, PT, και η ευθεία που διέρχεται από το P και σχηματίζει γωνία θ_c με τον άξονα του CPC. Η παραπάνω μέθοδος γένεσης της ανακλαστικής επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε σχήμα κυρτού δέκτη, δημιουργώντας έτσι συλλέκτες τύπου CPC, οι οποίοι δεν είναι κατ' ανάγκη παραβολικοί.



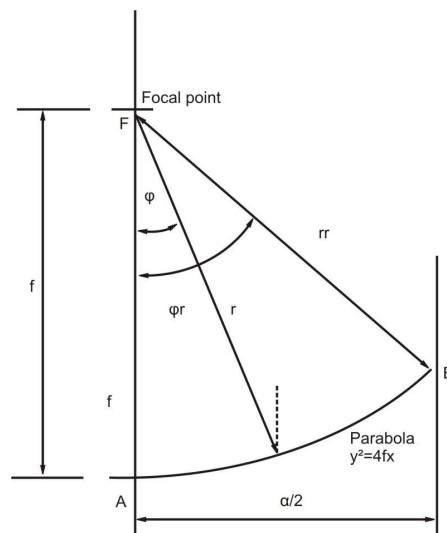
Σχήμα 3.3 CPC με κυλινδρικό δέκτη (σωλήνα).

Ο CPC του σχήματος 3.3 χρησιμοποιείται συνήθως ως αποκομμένος με σωληνοειδή δέκτη κενού και μάλιστα σε συστοιχία πολλών ομοίων CPC, η οποία φέρει επίπεδο γυάλινο κάλυμμα.

3.2 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΕΠΙΜΗΚΕΙΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ

Οι επιμήκεις παραβολικοί συγκεντρωτές έχουν τομή σχήματος παραβολής (σχήμα 3.4) και ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτών με είδωλο.

Αξιοποιούν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές που απαιτούν μέσες τιμές του λόγου συγκέντρωσης και θερμοκρασίες στην περιοχή 100°C-500°C. Ο δέκτης του συλλέκτη είναι επίπεδος ή κυλινδρικός.



Σχήμα 3.4 Τομή επιμήκους παραβολικού συγκεντρωτή. Κύρια χαρακτηριστικά

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται τομή κάθετη προς τον διαμήκη άξονα του επιμήκους παραβολικού συγκεντρωτή με διάφορα κύρια χαρακτηριστικά, όπως το άνοιγμα a

(διάμετρος), η εστιακή απόσταση f (η απόσταση από το κέντρο του πιάτου έως το σημείο εστίασης), η εστία F (το σημείο εστίασης), η ακτίνα r και η γωνία φ στο τυχόν σημείο της παραβολής και, τέλος, η ακτίνα και η γωνία χείλους του κατόπτρου r_r, φ_r . Η εξίσωση της παραβολής είναι:

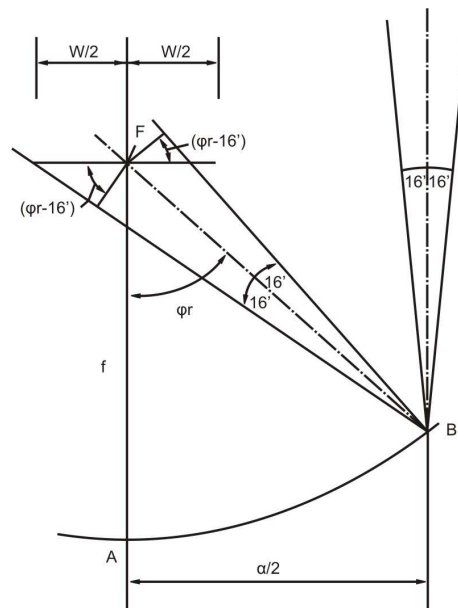
$$y^2 = 4fx \quad (3.2.1)$$

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει με γωνιακό εύρος $32' = 0.54^\circ$ (σχήμα 2.7). Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει καθέτως προς το επίπεδο του ανοίγματος του συγκεντρωτή, ανακλάται προς την εστία όπου σχηματίζεται το είδωλο του ήλιου. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι για τέλειο συγκεντρωτή, η διάμετρος κυλινδρικού δέκτη που απαιτείται για να περιλάβει ολόκληρο το είδωλο είναι:

$$D = 2r_r \sin 16' \quad (3.2.2)$$

Ενώ για επίπεδο δέκτη κάθετο προς τον άξονα συμμετρίας της παραβολής απαιτείται εύρος:

$$W = \frac{2r_r \sin 16'}{\cos(\varphi_r + 16')} \quad (3.2.3)$$



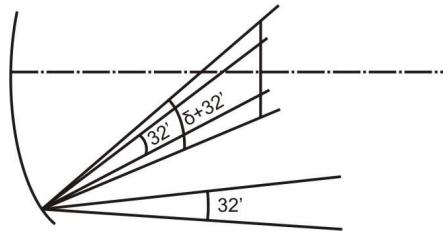
Σχήμα 3.5 Εύρος ειδώλου

Στην πράξη, το μέγεθος του ειδώλου είναι μεγαλύτερο από τις τιμές που δίνουν οι θεωρητικές εξισώσεις (3.2.2) και (3.2.3) για τους εξής λόγους:

(α) Λόγω ατελειών στο σχήμα της παραβολικής διατομής, παρατηρείται διασπορά του ειδώλου, δηλαδή μετά την ανάκλαση των ακτινών το γωνιακό εύρος των 32' αυξάνεται κατά την "γωνία διασποράς", δ και γίνεται $\delta+32'$, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Έτσι, η θεωρητική διάμετρος (εξ.(3.2.2)) και το θεωρητικό εύρος του ειδώλου (εξ.(3.2.3)) γίνονται αντιστοίχως:

$$D = 2r_r \sin(\delta/2 + 16') \quad (3.2.4)$$

$$W = \frac{2r_r \sin(\delta/2 + 16')}{\cos(\varphi_r + \delta/2 + 16')} \quad (3.2.5)$$

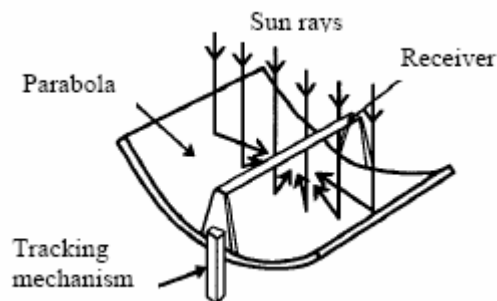


Σχήμα 3.6 Μεγέθυνση του ειδώλου λόγω της γωνίας διασποράς, δ που εμφανίζουν οι πραγματικοί συγκεντρωτές.

(β) Άλλη αιτία μεγέθυνσης του ειδώλου είναι ο προσανατολισμός του συγκεντρωτή.

3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

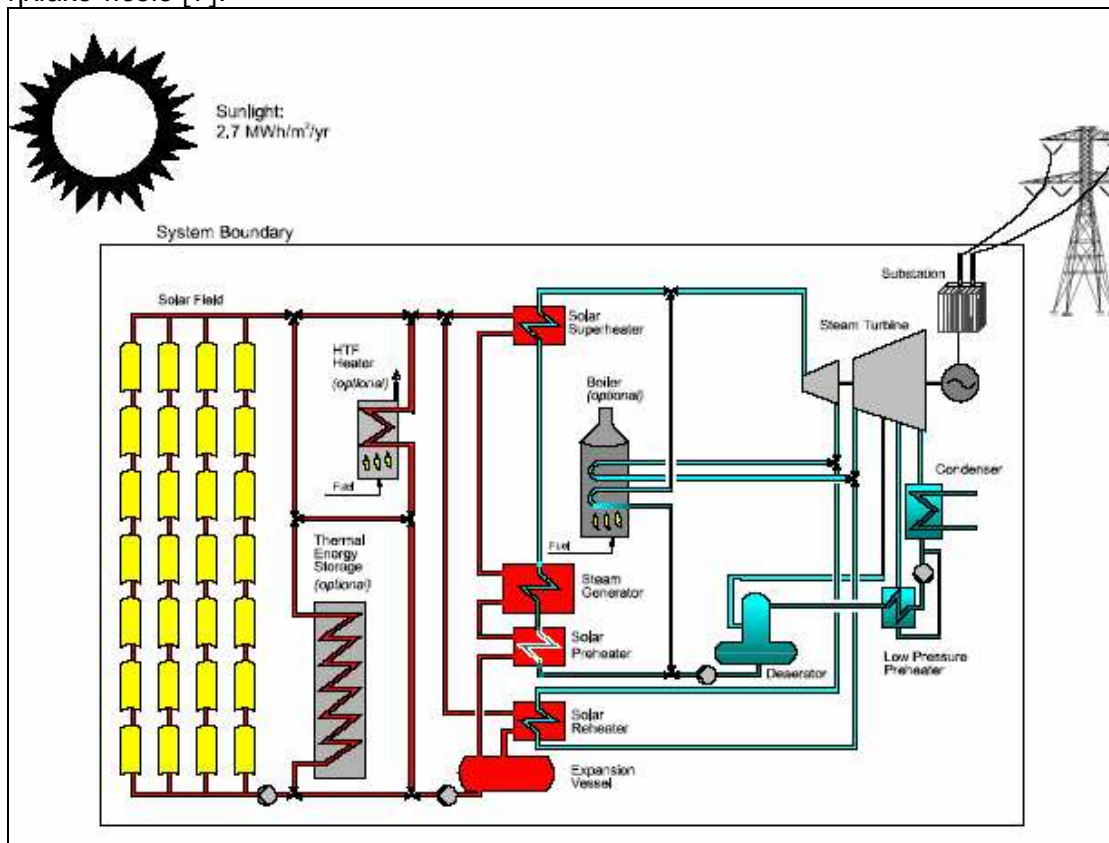
Οι επιμήκεις παραβολικοί συγκεντρωτές φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 3.7, έχουν έναν γραμμικό παραβολικό ανακλαστήρα που εστιάζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σ' έναν γραμμικό δέκτη τοποθετημένο στην εστία της παραβολής. Ο συγκεντρωτής παρακολουθεί τον ήλιο είτε από τα ανατολικά προς τα δυτικά (ο άξονας του συγκεντρωτή είναι σε βόρεια-νότια διεύθυνση) ή από τα βόρεια προς τα νότια (ο άξονας του συγκεντρωτή είναι σε ανατολική-δυτική διεύθυνση), κατά την διάρκεια της ημέρας, για να εξασφαλίσει ότι ο ήλιος είναι συνεχώς εστιασμένος στον γραμμικό δέκτη. Ένα μεταφερόμενο ρευστό, ή νερό σε υψηλή πίεση κυκλοφορεί στον δέκτη και θερμαίνεται έως τους 400°C [6].



Σχήμα 3.7 Σχήμα ενός επιμήκη παραβολικού συστήματος.

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΑΣ ΕΠΙΜΗΚΟΥΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το σχήμα 3.8 δείχνει ένα διάγραμμα διαδικασίας ροής το οποίο αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία των ηλιακών επιμηκών παραβολικών εγκαταστάσεων που είναι σε λειτουργία σήμερα. Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από υπομονάδες και στοιχειοθετείται από πολλές παράλληλες ευθυγραμμισμένες σειρές ηλιακών συλλεκτών σε βόρειο-νότιο οριζόντιο άξονα. Ο κάθε ηλιακός συλλέκτης έχει έναν γραμμικό παραβολικό ανακλαστήρα που εστιάζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, σ' έναν γραμμικό δέκτη ο οποίος τοποθετείται στην εστία της παραβολής. Οι συλλέκτες παρακολουθούν τον ήλιο από τα ανατολικά προς τα δυτικά κατά την διάρκεια της ημέρας για να εξασφαλίσουν μ' αυτό τον τρόπο ότι ο ήλιος είναι συνεχώς εστιασμένος στον γραμμικό δέκτη. Ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας θερμαίνεται καθώς κυκλοφορεί διαμέσου του δέκτη και επιστρέφει σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας όπου το ρευστό χρησιμοποιείται για την παραγωγή υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού. Ο υπέρθερμος ατμός μετά τροφοδοτείται σε μία συμβατική τουρμπίνα/ γεννήτρια επαναρθέρμανσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο ατμός εξόδου από την τουρμπίνα συμπυκνώνεται σ' έναν κανονικό συμπυκνωτή και επιστρέφει στους εναλλάκτες θερμότητας μέσω συμπύκνωσης και αντλιών τροφοδοσίας νερού για να μετασχηματιστεί σε ατμό. Η ψύξη και η συμπύκνωση εξασφαλίζονται από μηχανικούς πύργους στήριξης. Μετά το πέρασμα του ρευστού μεταφοράς θερμότητας διαμέσου της μεριάς των ηλιακών εναλλακτών θερμότητας, το κρύο ρευστό μεταφοράς θερμότητας ξανακυκλοφορεί στο ηλιακό πεδίο [7].



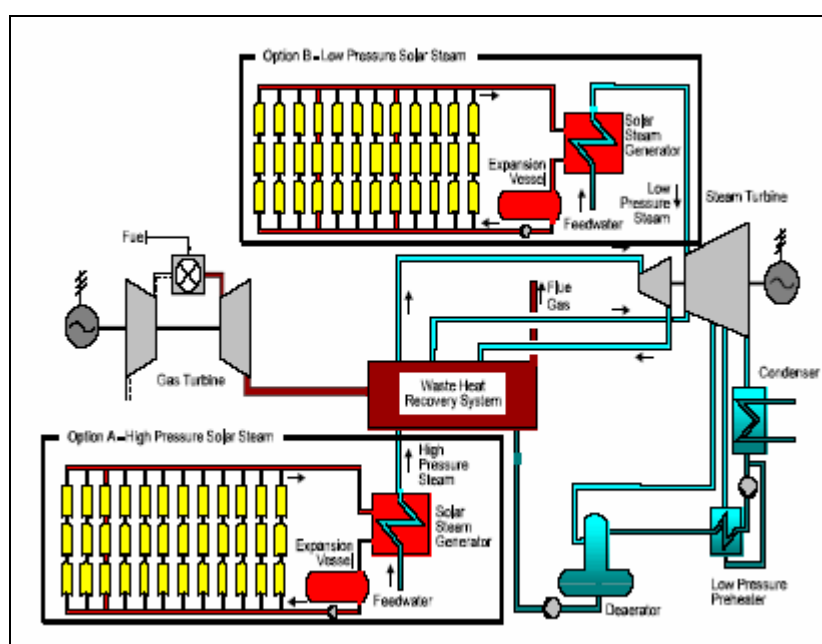
Σχήμα 3.8 Επιμήκη παραβολικό σύστημα Solar/ Rankine.

Ιστορικά, οι επιμήκεις παραβολικές εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια σαν πρωταρχική πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρη φορτίο ισχύος χρησιμοποιώντας αποκλειστικά ηλιακή ενέργεια δίνοντας επαρκή ηλιακή εισόδο. Κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, οι εγκαταστάσεις τυπικά λειτουργούν 10-12 ώρες την ημέρα σε πλήρη ηλεκτρικό φορτίο εξόδου. Ωστόσο μέχρι

σήμερα όλες οι εγκαταστάσεις έχουν εφεδρικό ορυκτό καύσιμο υποστήριξης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συμπλήρωση ηλιακής εισόδου κατά την διάρκεια περιόδων χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Στο σύστημα που φαίνεται στο σχήμα 3.8, η προαιρετικά καύση στον θερμαντήρα τοποθετείται παράλληλα με το ηλιακό πεδίο, ή ο προαιρετικός βραστήρας ατμού υπερθέρμανσης τοποθετείται παράλληλα με τους ηλιακούς εναλλάκτες θερμότητας εξασφαλίζοντας αυτή την δυναμικότητα. Το εφεδρικό καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου εξόδου για συνεφιασμένες περιόδους ή νυχτερινές ώρες.

3.3.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (Integrated Solar Combined Cycle System/ ISCCS)

Τα ISCCS είναι ένα νέο σχέδιο που ενσωματώνει μια επιμήκη παραβολική εγκατάσταση με μια εγκατάσταση τουρμπίνας αερίου συνδυασμένου κύκλου. Τα ISCCS παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον γιατί προσφέρουν ένα καινοτομικό τρόπο για την μείωση του κόστους και την βελτίωση της συνολικής ηλιακής αποδοτικότητας σε ηλεκτρική. Ένα διάγραμμα διαδικασίας ροής για ένα ISCCS φαίνεται στο σχήμα 3.9. Το ISCCS χρησιμοποιεί ηλιακή θερμότητα για την συμπλήρωση της θερμότητας αποβλήτων από την τουρμπίνα αερίου για την αύξηση της παραγωγής ισχύος στο κάτω μέρος της ατμομηχανής Rankine. Σ' αυτό το σχέδιο χρησιμοποιείται ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή επιπλέον ατμού και η θερμική τουρμπίνα αποβλήτων χρησιμοποιείται για την προθέρμανση και την υπερθέρμανση ατμού.



Σχήμα 3.9 Ολοκληρωμένο ηλιακό σύστημα συνδυασμένου κύκλου.

3.3.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Από το 1985 έως το 1991, εννέα εμπορικοί επιμήκεις παραβολικές εγκαταστάσεις με χωρητικότητα από 30 έως 80 MW έχουν υλοποιηθεί στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας, με συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα των 350 MW [8].



Σχήμα 3.10 Εναέρια φωτογραφία των πέντε επιμηκών παραβολικών εγκαταστάσεων των 30 MW στο Kramer Junction στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας.



Σχήμα 3.11 Μία εικόνα από το ηλιακό πεδίο παραβολικών ηλιακών συλλεκτών των 30 MW SEGS III, στο Kramer Junction στην Καλιφόρνια. Το σχήμα δείχνει το μεγάλο πεδίο με σειρές από επιμήκεις παραβολικούς συλλέκτες [9].

3.4 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΠΑΡΑΒΟΛΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ

Ο παραβολοειδής συγκεντρωτής είναι επιφάνεια εκ περιστροφής. Η τομή του που περιέχει τον άξονα συμμετρίας είναι παραβολή, όπως και η τομή του επιμήκους παραβολικού συγκεντρωτή στο σχήμα 3.4 [3].

Ανήκει στην κατηγορία των συγκεντρωτών με είδωλο, αξιοποιεί μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και μπορεί να επιτύχει πολύ υψηλό λόγο συγκέντρωσης. Χρησιμοποιείται με δέκτη σφαιρικό, επίπεδο ή κοίλο.

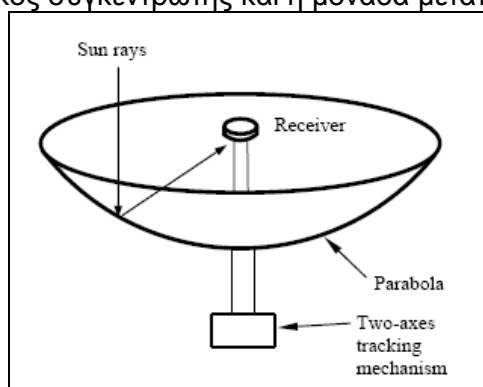
Παρόμοια ανάλυση με αυτή που έγινε στην προηγούμενη ενότητα για τους επιμήκεις παραβολικούς συγκεντρωτές μπορεί να γίνει και για τους παραβολοειδείς

συγκεντρωτές. Ορίζονται και εδώ ανάλογα χαρακτηριστικά μεγέθη, όπως το άνοιγμα a , η εστιακή απόσταση f , η γωνία και η ακτίνα χείλους φ_r, r_r (σχήμα 3.4).

3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το σύστημα παραβολικού πιάτου φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 3.12, συλλέγει την άμεση ηλιακή ενέργεια και την συγκεντρώνει ή την εστιάζει σε μια μικρή περιοχή. Το σύστημα του πιάτου θα πρέπει να παρακολουθεί πλήρως τον ήλιο για την ανάκλαση της δέσμης φωτός στον θερμικό δέκτη.

Η κύρια χρήση αυτού του τύπου συγκεντρωτή είναι για σύστημα μηχανής Stirling. Ένα σύστημα μηχανής είναι μια ηλεκτρική γεννήτρια που χρησιμοποιεί ηλιακό φως αντί για αργό πετρέλαιο ή άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα σημαντικότερα μέρη ενός συστήματος είναι ο ηλιακός συγκεντρωτής και η μονάδα μετατροπής ισχύος.

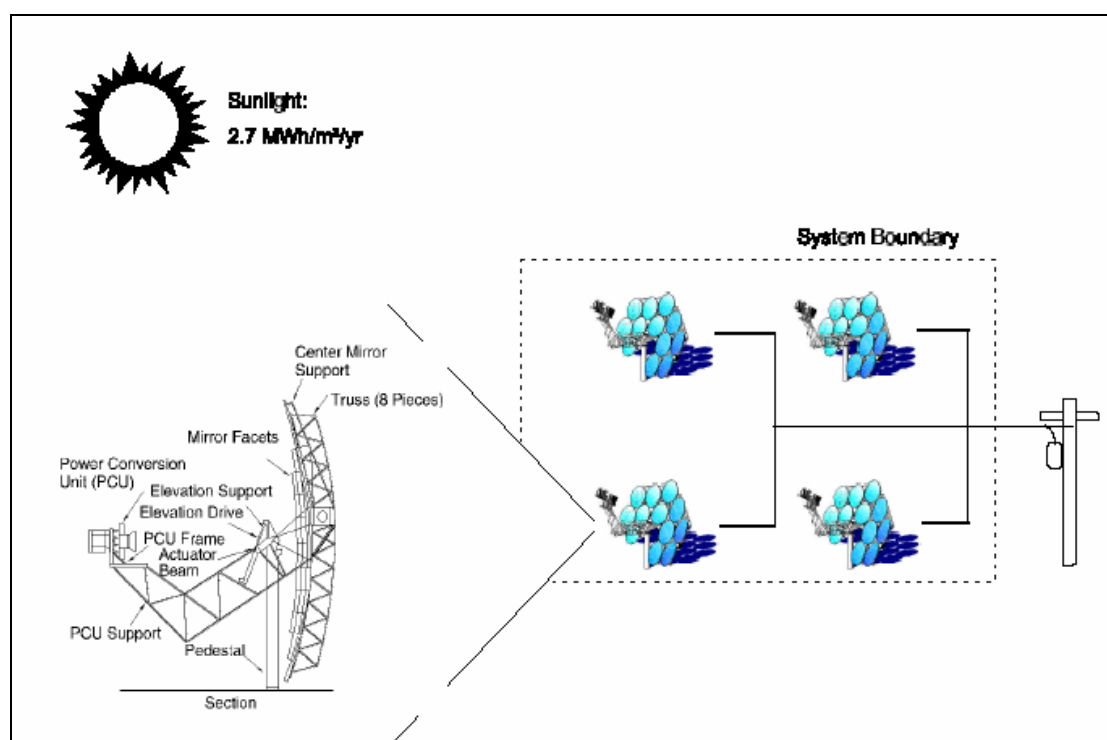


Σχήμα 3.12 Σχήμα ενός παραβολικού συγκεντρωτή.

Η μονάδα μετατροπής ισχύος περιλαμβάνει τον θερμικό δέκτη και την θερμική μηχανή. Ο θερμικός δέκτης απορροφάει την συγκεντρωμένη δέσμη φωτός της ηλιακής ενέργειας, την μετατρέπει σε θερμότητα και την μεταφέρει στην θερμική μηχανή. Ο θερμικός δέκτης μπορεί να είναι ομάδα από σωλήνες με ψυκτικό υγρό το οποίο κυκλοφορεί μέσα σ' αυτόν. Η μέση θερμική μεταφορά συνήθως χρησιμοποιείται καθώς το μεταφερόμενο υγρό για μια μηχανή είναι το υδρογόνο ή το ήλιο. Εναλλακτικοί θερμικοί δέκτες είναι θερμικοί σωλήνες στους οποίους η βράση και η συμπύκνωση ενός μεσαίου υγρού χρησιμοποιείται για την μεταφορά θερμότητας στην μηχανή. Το σύστημα της μηχανής παίρνει την θερμότητα από τον θερμικό δέκτη και την χρησιμοποιεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η μηχανή Stirling είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος θερμικής μηχανής που χρησιμοποιείται στα συστήματα πιάτα μηχανών. Άλλες πιθανές τεχνολογικές μονάδες μετατροπής ισχύος που εκτιμώνται για τις εφαρμογές του μέλλοντος είναι οι μικροτουρμπίνες και τα συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά [6].

3.4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΙΑΤΟΥ/ ΜΗΧΑΝΗΣ

Τα συστήματα πιάτου/ μηχανής μετατρέπουν την θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηχανική και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπου οι εγκαταστάσεις μετατροπής ισχύος μετατρέπουν την θερμική ενέργεια από την καύση ορυκτού καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Τα ενδεικνυόμενα στο σχήμα 3.13 συστήματα πιάτου/ μηχανής χρησιμοποιούν μια παράταξη καθρέφτη για να ανακλάσουν και να συγκεντρώσουν την άμεση ηλιακή έκθεση στον δέκτη, για να επιτύχουν τις απαιτούμενες θερμοκρασίες για θερμική μετατροπή αποτελεσματικής λειτουργίας. Αυτό απαιτεί ότι το ηλιακό πιάτο παρακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον δέκτη και μεταφέρεται στην μηχανή [10].



Σχήμα 3.13 Σχήμα ενός συστήματος πιάτου/ μηχανής. Εδώ φαίνεται η παραστατική εφαρμογή ισχύς ενός χωριού, από τον συνδυασμό τεσσάρων μονάδων των 25 KW_e.

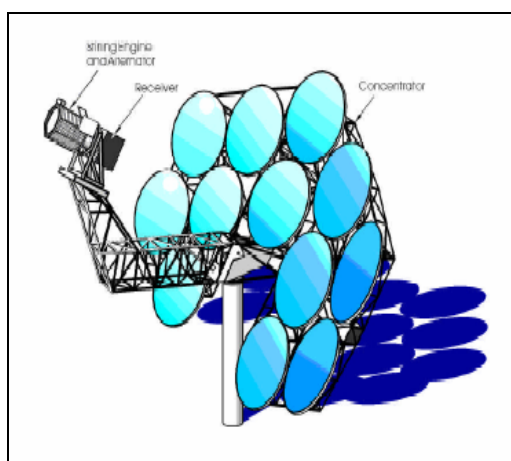
Τα συστήματα πιάτου/ μηχανής χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοτικότητα, συναρμολογησιμότητα, αυτόνομη λειτουργία και μια έμφυτη υβριδική υποστήριξη (η ικανότητα να λειτουργεί ή με ηλιακή ενέργεια ή με ορυκτό καύσιμο ή και με τα δύο). Από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες, τα συστήματα πιάτου/ μηχανής έχουν αποδεδειγμένα την υψηλότερη αποδοτικότητα μετατροπής από ηλιακή σε ηλεκτρική (29.4%), και επομένως έχουν το δυναμικό να γίνουν μία από τις ελάχιστες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Η συναρμολογησιμότητα των συστημάτων πιάτου/ μηχανής επιτρέπει σ' αυτά να αναπτυχθούν ατομικά για απομακρυσμένες εφαρμογές ή ομαδοποιημένα μαζί για μικρό δίκτυο (ισχύς χωριού) ή για μεγάλα δίκτυα γενικών εφαρμογών. Τα συστήματα πιάτου/ μηχανής μπορούν να διασταυρωθούν με ορυκτό καύσιμο για την εξασφάλιση αδιάλειπτης ισχύς. Αυτή η τεχνολογία είναι στο στάδιο της μηχανολογικής ανάπτυξης και τεχνικές απαιτήσεις παραμένουν αφορώντας τα ηλιακά εξαρτήματα και την εμπορική διαθεσιμότητα της μηχανής.

3.4.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ

Τα συστήματα πιάτου/ μηχανής κάνουν χρήση των συγκεντρωμένων ηλιακών συλλεκτών που παρακολουθούν τον ήλιο σε δύο άξονες. Μια ανακλαστική επιφάνεια επιμεταλλωμένου γυαλιού ή πλαστικού, ανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή περιοχή που ονομάζεται εστία.

Οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν ανακλαστική επιφάνεια από αλουμίνιο ή άργυρο, εναποθετημένη από γυαλί ή πλαστικό. Οι πιο στέρεες ανακλαστικές επιφάνειες έχουν αργυρούς/ γυάλινους καθρέφτες, αντίστοιχους με τους διακοσμητικούς καθρέφτες στο σπίτι. Προσπάθειες για μικρού κόστους κατασκευής ανακλαστικών πολυμερών μεμβρανών είχαν περιορισμένη επιτυχία. Επειδή οι συγκεντρωτές πιάτου έχουν μικρά εστιακά μήκη, απαιτούνται σχετικά λεπτοί γυάλινοι καθρέφτες (πάχους περίπου του 1mm) για την εξομάλυνση των καμπυλοτήτων. Άλλωστε το γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σιδήρου είναι επιθυμητό για την βελτίωση της ανάκλασης. Βασιζόμενοι στο πάχος και στην περιεκτικότητα σιδήρου, αργυροί ηλιακοί καθρέφτες έχουν τιμές ηλιακής ανάκλασης στο επίπεδο του 90-94%.

Η ιδανική μορφή συγκεντρωτή είναι παραβολοειδής εκ περιστροφής. Ορισμένοι ηλιακοί συγκεντρωτές είναι παραπλήσιοι με καθρέφτες σφαιρικής μορφής, υποστηριζόμενοι σε μεταλλικής κατασκευής υποστήριγμα σχήμα 3.13. Μια καινοτομία στο σχεδιασμό του ηλιακού συγκεντρωτή είναι η χρήση ελαστικών μεμβρανών στις οποίες μια λεπτή ανακλαστική μεμβράνη απλώνεται επί του χείλους. Μια δεύτερη μεμβράνη χρησιμοποιείται για να καλύψει το κενό πίσω. Μερικό κενό δημιουργείται σ' αυτή την περιοχή, φέρνοντας την μεμβράνη μέσα σε μία περίπου σφαιρική μορφή. Το σχήμα 3.14 είναι ένα σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος πιάτου / Stirling που κάνει χρήση αυτής της αρχής. Η οπτική σχεδίαση του συγκεντρωτή και η ακρίβεια καθορίζουν τον δείκτη συγκέντρωσης. Ο δείκτης συγκέντρωσης ορίζεται ως η μέση ηλιακή ροή διαμέσου της επιφάνειας του δέκτη, διαιρεμένη από την άμεση ηλιακή έκθεση του περιβάλλοντος, η οποία είναι τυπικά πάνω από 2000.



Σχήμα 3.14 Σχήμα ενός συστήματος πιάτου/ μηχανής με καθρέφτες από ελαστικές μεμβράνες.

Η παρακολούθηση σε δύο άξονες γίνεται με δύο τρόπους:

1. Παρακολούθηση αζιμουθίου-ανύψωσης
2. Πολική παρακολούθηση

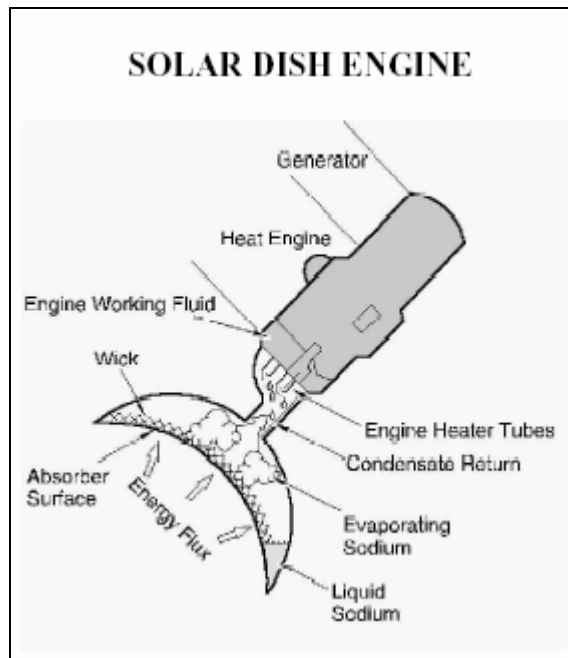
Στην παρακολούθηση αζιμουθίου- ανύψωσης, το πιάτο περιστρέφεται σε επίπεδο παράλληλο στη γη (αζιμούθιο) και στο άλλο επίπεδο κάθετα σ' αυτό (ανύψωση). Αυτό δίνει στο συλλέκτη αριστερές/ δεξιές και πάνω/ κάτω περιστροφές. Τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα συστήματα πιάτου/ μηχανής χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο παρακολούθησης. Στην πολική μέθοδο παρακολούθησης, ο συλλέκτης περιστρέφεται περίπου σε άξονα παράλληλο με τον άξονα περιστροφής της γης. Ο συλλέκτης περιστρέφεται μ' έναν σταθερό ρυθμό των 15^ο/ ώρα ισοδύναμο με την περιστροφική ταχύτητα της γης. Ο άλλος άξονας περιστροφής, ο άξονας απόκλισης, είναι κάθετος στον πολικό άξονα. Η κίνηση σ' αυτόν τον άξονα συμβαίνει αργά και κυμαίνεται +/- 23.5^ο στη διάρκεια του χρόνου. Περισσότερα από τα μικρότερα συστήματα πιάτου/ μηχανής έχουν χρησιμοποιήσει αυτή την μέθοδο.

3.4.2.2 ΔΕΚΤΕΣ

Ο δέκτης απορροφά την ανακλώμενη ενέργεια από τον συγκεντρωτή και την μεταφέρει στο κινούμενο υγρό της μηχανής. Η απορροφητική επιφάνεια είναι συνήθως τοποθετημένη πίσω από την εστία του συγκεντρωτή για να μειώσει την ένταση ροής που προσπίπτει σ' αυτό. Ένα άνοιγμα τοποθετείται στην εστία για να μειώσει την ακτινοβολία και τις θερμικές απώλειες μεταγωγής. Κάθε μηχανή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά. Οι δέκτες μηχανών Stirling μεταφέρουν πιο αποδοτικά την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια σε υψηλής πίεσης αέριο, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Στους δέκτες Brayton η ροή είναι σταθερή, αλλά σχετικά χαμηλών πιέσεων.

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των δεκτών Stirling, οι άμεσοι- φωτιζόμενοι δέκτες (direct- illumination receivers/DIR) και οι έμμεσοι δέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα μεσάζων μεταφερόμενο υγρό θερμότητας. Οι άμεσοι- φωτιζόμενοι δέκτες Stirling προσαρμόζουν τους θερμικούς σωλήνες της Stirling μηχανής για να απορροφήσουν την συγκεντρωμένη ηλιακή ροή. Εξαιτίας της ικανότητας υψηλής θερμικής μεταφοράς υψηλής ταχύτητας, υψηλής πίεσης ηλίου ή υδρογόνου, οι άμεσοι- φωτιζόμενοι δέκτες είναι ικανοί στην απορρόφηση υψηλών πεδίων ηλιακής ροής (περίπου 75W/cm²).

Υγροί-μεταλλικοί, θερμικοί-σωλήνες ηλιακών δεκτών βοηθούν στην λύση της κυκλοφορίας. Σ' ένα θερμικό σωλήνα δέκτη, υγρό μεταλλικό νάτριο εξατμίζεται στην απορροφητική επιφάνεια του δέκτη και συνοψίζεται στους θερμικούς σωλήνες της μηχανής Stirling (σχήμα 3.15). Αυτό καταλήγει σε ομοιόμορφη θερμοκρασία στους θερμικούς σωλήνες και μ' αυτόν τον τρόπο γίνεται ικανή η υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας της μηχανής, για ένα δεδομένο υλικό, και συνεπώς υψηλότερη αποδοτικότητα της. Οι δέκτες μεγαλύτερης διάρκειας και οι κεφαλές θερμικής μηχανής είναι θεωρητικά κατάλληλοι από την χρήση ενός θερμικού σωλήνα. Ο θερμικός σωλήνας δέκτη μεταφέρει ισοθερμικά θερμότητα από την εξάτμιση νατρίου στον δέκτη/ απορροφητή και την συμπυκνώνει στους θερμικούς σωλήνες της μηχανής. Το νάτριο επιστρέφει παθητικά στον απορροφητή από την επιτάχυνση και διανέμεται μέσω του απορροφητή υπό τη μορφή θρυαλλίδας. Οι δέκτες Stirling είναι περίπου 90% αποδοτικοί στην μεταφορά ενέργειας.



Σχήμα 3.15 Σχήμα το οποίο δείχνει την λειτουργία ενός θερμικού σωλήνα ηλιακού δέκτη.

3.4.2.3 ΜΗΧΑΝΕΣ

Η μηχανή σ' ένα σύστημα πιάτου/ μηχανής μετατρέπει θερμότητα σε μηχανική ισχύ μ' ένα πανομοιότυπο τρόπο των συμβατικών μηχανών, ο οποίος είναι από την συμπίεση ενός κινούμενου υγρού όταν κρυώνει, θέρμανση του κινούμενου υγρού και μετά διόγκωσή του διαμέσου μιας τουρμπίνας ή ενός εμβόλου για την παραγωγή έργου. Η μηχανική ισχύς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύς από μια ηλεκτρική γεννήτρια ή εναλλακτήρα. Ένας αριθμός από θερμοδυναμικές κυκλικές διατάξεις και κινούμενα υγρά έχουν μελετηθεί για συστήματα πιάτου/ μηχανής. Αυτές περιλαμβάνουν κυκλικές διατάξεις Brayton, χρησιμοποιώντας νερό ή κινούμενο οργανικό υγρό, ανοιχτές και κλειστές μαζί κυκλικές διατάξεις Brayton και διατάξεις Stirling. Άλλες περισσότερες θερμοδυναμικές διατάξεις και μεταβολές των άνω κυκλικών διατάξεων έχουν μελετηθεί. Οι θερμικές μηχανές οι οποίες προτιμώνται χρησιμοποιούν κυκλική διάταξη Stirling και ανοιχτή κυκλική διάταξη Brayton (τουρμπίνα αερίου). Η χρήση των συμβατικών αυτοκινούμενων κυκλικών διατάξεων μηχανών Otto και Diesel δεν είναι κατάλληλες εξαιτίας των δυσκολιών τους στην συνεργασία τους με την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί επίσης να προμηθευτεί από τον συμπληρωματικό καυστήρα αερίου, ο οποίος επιτρέπει την λειτουργία κατά την διάρκεια της νύχτας και συννεφιασμένου καιρού.

3.4.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΠΙΑΤΟΥ/ ΜΗΧΑΝΗΣ

3.4.3.1 ΙΣΠΑΝΙΑ

Ποικίλα πρωτότυπα πιάτου/ μηχανής λειτουργούν επιτυχώς κατά την διάρκεια των 10 τελευταίων χρόνων. Στην Ισπανία, 6 μονάδες από 9 έως 10 KW λειτουργούν επιτυχώς. Τρία από αυτά τα πιάτα λειτουργούν συνεχώς από το 1992 με μεγάλη επιτυχία, συσσωρεύοντας περισσότερες από 30.000 ώρες εμπειρικής λειτουργίας [11].



Σχήμα 3.16 Οι 6 μονάδες από 9 έως 10 KW λειτουργούν επιτυχώς στην Plataforma Solar de Almeria στην Ισπανία.

3.4.3.2 ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ

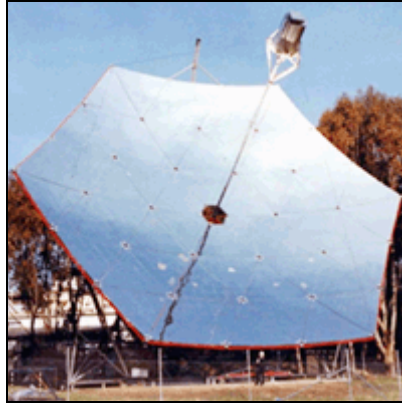
Την ίδια χρονική στιγμή στις Ηνωμένες Πολιτείες, η SAIC εγκατέστησε ένα πιάτο / μηχανής Stirling 25 KW δεύτερης γενιάς παραγωγής για εκτεταμένη δοκιμή και αξιολόγηση.



Σχήμα 3.17 Σύστημα SAIC 25KW πιάτου / μηχανής Stirling.

3.4.3.3 ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ

Με τη συμμετοχή μιας πολυεθνικής εταιρίας κοινής ωφέλειας, η έρευνα αγοράς και ανάπτυξης στην Αυστραλία έχει επιδείξει το “μεγάλο πιάτο” από το Αυστραλιανό Εθνικό Πανεπιστήμιο στην Canberra.



Σχήμα 3.18 Το “μεγάλο πιάτο” των 400m² στο Αυστραλιανό Εθνικό Πανεπιστήμιο στην Canberra.

3.4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗ ΣΑΝ «ΗΛΙΑΚΟ ΜΑΓΕΙΡΕΙΟ»

Μια άλλη χρήση του παραβολικού συγκεντρωτή είναι η εφαρμογή του σαν ηλιακό μαγειρείο (σχήμα 3.19). Ένα μαύρο μεταλλικό δοχείο είναι τοποθετημένο στο σημείο εστίασης του παραβολικού συγκεντρωτή. Οι ηλιακές ακτίνες ανακλώνται στο σημείο αυτό και απορροφώνται από το μαύρο δοχείο στο οποίο τοποθετείται τροφή για μαγείρεμα.



Σχήμα 3.19 Εφαρμογή παραβολικού συγκεντρωτή σαν « ηλιακό μαγειρείο».

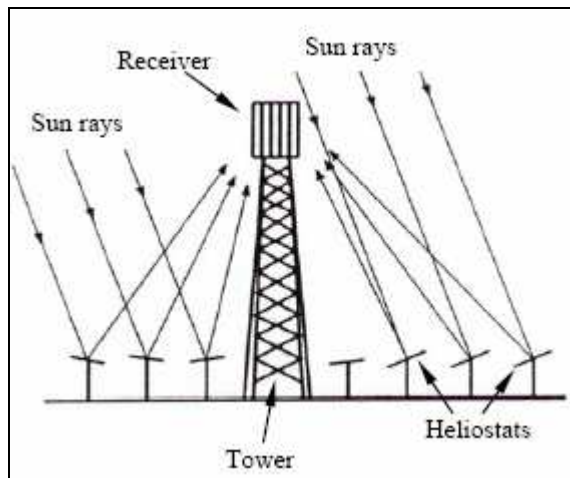
3.5 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΕΚΤΗ

Πρόκειται για μεγάλο σύστημα που, συνήθως, καταλαμβάνει σημαντική έκταση εδάφους. Ο συγκεντρωτής είναι μη συνεχής, δηλαδή αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κατόπτρων, τα οποία ανακλούν την άμεση ακτινοβολία προς ένα κεντρικό δέκτη τοποθετημένα σε πύργο.

Λαμβάνεται πρόνοια ώστε τα κάτοπτρα να μη σκιάζονται μεταξύ τους, ούτε να παρεμβάλλονται στην πορεία της ανακλώμενης ακτινοβολίας εμποδίζοντάς την να φθάσει στο δέκτη. Για την αντιμετώπιση της σκίασης και της παρεμβολής, τα κάτοπτρα τοποθετούνται σε κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ των καλύπτοντας έτσι ένα κλάσμα μόνο του διατιθεμένου εδάφους, συνήθως $\Psi = 0.3-0.5$ [3].

3.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένα σύστημα κεντρικού δέκτη φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 3.20. Σ' αυτή την περίπτωση οι προσπίπτων ακτίνες του ήλιου ανακλώνται από μεγάλα κάτοπτρα που ονομάζονται ηλιοστάτες (συσκευές παρακολούθησης του ήλιου), οι οποίοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ροή προς τους μεταγωγικούς εναλλάκτες θερμότητας, που ονομάζονται ηλιακοί δέκτες, όπου ενέργεια μεταφέρεται σε ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Μετά την συλλογή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό έχει πολλές ομοιότητες με τις συμβατικές θερμικές εγκαταστάσεις ισχύος ορυκτών καυσίμων [6].



Σχήμα 3.20 Σχήμα ενός συστήματος κεντρικού δέκτη.

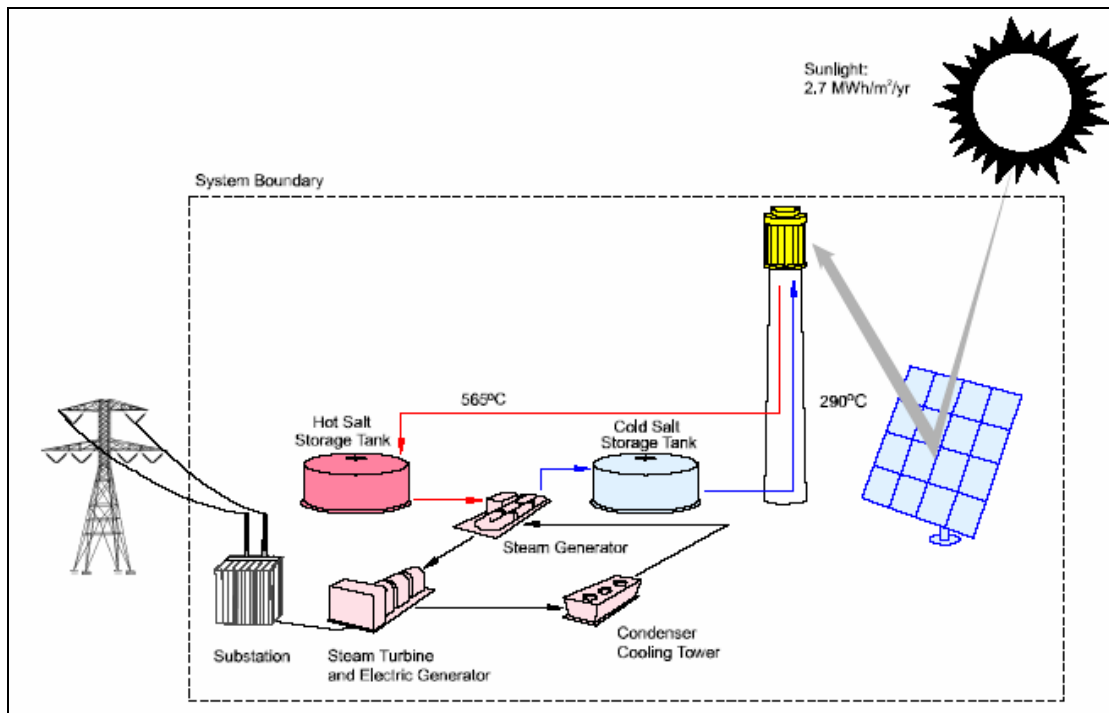
Ο τυπικός οπτικός δείκτης συγκέντρωσης για αυτό τον τύπο συστήματος κυμαίνεται από 200 έως 1000 και το μέγεθος της εγκατάστασης στο πεδίο από 10 έως 200 MW. Η μέση εισερχόμενη ηλιακή ροή στο δέκτη κυμαίνεται ανάμεσα στα 200 και 1000 Kw/m². Αυτή η υψηλή ροή επιτρέπει την λειτουργία σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1000⁰C και τον συνδυασμό θερμικής ενέργειας σε περισσότερες αποδοτικές διατάξεις. Τα συστήματα κεντρικού δέκτη μπορούν εύκολα να συνδυαστούν με ορυκτές εγκαταστάσεις για υβριδική λειτουργία με μεγάλη ποικιλία επιλογών και έχουν το δυναμικό να λειτουργήσουν περισσότερες από τις μισές ώρες του κάθε χρόνου σε ονομαστική ισχύ χρησιμοποιώντας θερμική αποθήκευση ενέργειας.

3.5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ

Τα συστήματα κεντρικού δέκτη παράγουν ηλεκτρική ισχύς από το φως του ήλιου, από την εστίαση συγκεντρωμένης ηλιακής ακτινοβολίας σ' έναν πύργο εναλλάκτη θερμότητας (δέκτης). Το σύστημα χρησιμοποιεί εκατοντάδες μέχρι χιλιάδες κάτοπτρα παρακολούθησης του ήλιου, που ονομάζονται ηλιοστάτες, για την ανάκλαση του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός πάνω στον δέκτη. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι για εφαρμογές γενικής χρήσης σε πεδίο 30 έως 400MW_e.

Σ' έναν ηλιακό πύργο ισχύος χυτού άλατος, υγρό αλάτι στους 290⁰C (554⁰F) αντλείται από μια κρύα δεξαμενή αποθήκευσης διαμέσου του δέκτη όπου θερμαίνεται στους 565⁰C (1,049⁰F) και μετά πηγαίνει σε μια ζεστή δεξαμενή για αποθήκευση. Όταν απαιτείται ισχύς από την εγκατάσταση, ζεστό αλάτι αντλείται από ένα σύστημα

παραγωγής ατμού, που παράγει υπέρθερμο ατμό για ένα συμβατικό σύστημα τουρμπίνας/ γεννήτριας Rankine. Από την ατμομηχανή, το αλάτι επιστρέφει στην κρύα δεξαμενή όπου αποθηκεύεται και τελικά ξαναζεσταίνεται στο δέκτη. Το σχήμα 3.21 είναι ένα σχηματικό διάγραμμα της αρχικής διαδρομής ροής σε μία ηλιακή εγκατάσταση ισχύος χυτού άλατος. Καθορίζοντας το βέλτιστο μέγεθος αποθήκευσης, για να μπορεί να αντεπεξέλθει στις ενεργειακές ανάγκες, είναι ένα σημαντικό μέρος για την διαδικασία σχεδίασης του συστήματος. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να σχεδιαστούν με επαρκή χωρητικότητα για την λειτουργία της τουρμπίνας σε πλήρη έξοδο πάνω από 13 ώρες [12].



Σχήμα 3.21 Σύστημα ηλιακού πύργου ισχύος χυτού άλατος.

Το πεδίο του ηλιοστάτη που περιβάλλει τον πύργο σχεδιάζεται έξω για την βελτιστοποίηση της ετήσιας αποδοτικότητας της εγκατάστασης. Το πεδίο και ο δέκτης επίσης ταξινομούνται σε μέγεθος βασισμένα στις ανάγκες χρήσης. Σε μία τυπική εγκατάσταση, συλλογή ηλιακής ενέργειας συμβαίνει σε βαθμό που υπερβαίνει το μέγιστο για την εξασφάλιση ατμού στην τουρμπίνα. Συμπερασματικά, το σύστημα θερμικής αποθήκευσης μπορεί να γεμίσει την ίδια στιγμή που η εγκατάσταση παράγει ισχύ σε πλήρη δυναμικότητα. Ο λόγος θερμικής ισχύος δίνεται από το σύστημα συλλογής (το πεδίο του ηλιοστάτη και τον δέκτη) στην αιχμή της απαιτούμενης θερμικής ισχύος από την γεννήτρια /τουρμπίνα, ονομάζεται ηλιακός πολλαπλασιαστής.

3.5.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ

Στο Barstow, στην Καλιφόρνια μία δοκιμαστική εγκατάσταση 10MW (Solar One) λειτουργούσε από το 1982 έως το 1988. Το Solar One μετατράπηκε σε Solar Two το 1990 χρησιμοποιώντας για ρευστό μεταφοράς θερμότητας λιωμένο αλάτι. Το σύστημα τώρα έχει εκατοντάδες ώρες εμπειρικής λειτουργίας και ισχύ που παραδίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το Solar Two έχει επιδειχτεί για αποθήκευση και παράδοση της ηλιακής ισχύς στο δίκτυο 24 ώρες ανά ημέρα, εάν είναι απαραίτητο [11].



Σχήμα 3.22 Το σύστημα Solar Two σε λειτουργία από το 1996, στην Καλιφόρνια, για αποθήκευση και παράδοση ηλιακής ισχύς στο δίκτυο 24 ώρες ανά ημέρα.

4. ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗΣ

4.1 ΑΓΟΡΑ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗ

Το δορυφορικό πιάτο αγοράστηκε από την σχολή, από κατάστημα πώλησης δορυφορικών κεραιών. Τα συγκεκριμένα πιάτα δεν χρησιμοποιούνται και έχουν αντικατασταθεί από πιάτα τύπου offset, πολυεστιακά. Το κόστος του ήταν 100€ .

4.1.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ- ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗ

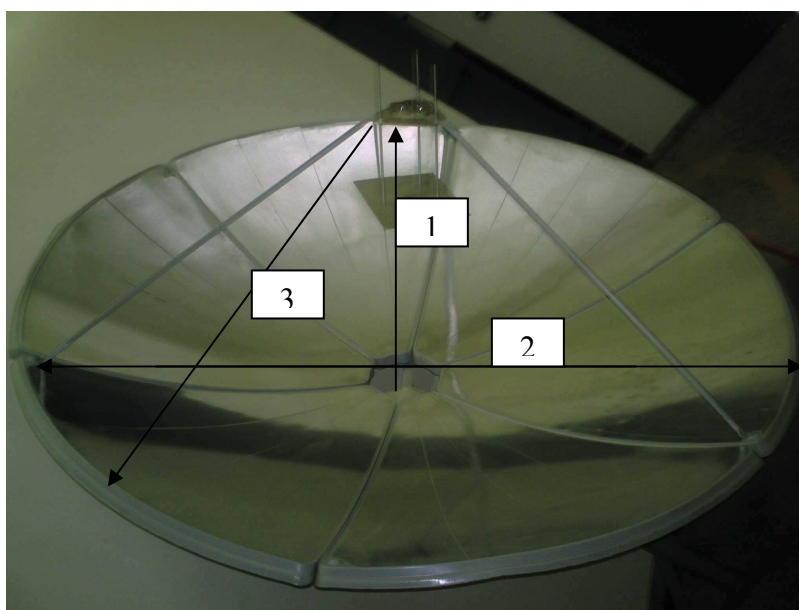
Το παραβολικό πιάτο πριν επικαλυφθεί με την μεμβράνη για την διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων χρειάστηκε να βελτιωθεί η συναρμογή του. Δηλαδή η κάθε φέτα του πιάτου λύθηκε και ξαναενώθηκε από την αρχή, για την επίτευξη της καλύτερης επαφής μεταξύ τους, ώστε να μην υπάρχουν κενά και να βρίσκονται όλες οι φέτες του πιάτου στο ίδιο σημείο επαφής.

4.1.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗ

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του παραβολικού πιάτου που μετρήθηκαν φαίνονται στον πίνακα 4. Το κάθε γεωμετρικό χαρακτηριστικό του πιάτου που μετρήθηκε φαίνεται στο σχήμα 4.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Μήκος εστίασης f (1)	0.715m
Άνοιγμα διαμέτρου D (2)	1.80m
Μέγιστη απόσταση του χείλους από την εστία r_r (3)	0.99m
Γωνία χείλους φ_r (υπολογίστηκε από σχήμα 3.4)	64.1°



Σχήμα 4.1

4.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

4.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Ο πίνακας 4.1 που ακολουθεί μας δίνει τη μέση θεωρητική ανακλαστικότητα διαφόρων υλικών [4] :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

Επιφάνεια	ρ
Επιμετάλωση με άργυρο πρόσφατη	0.96
Υψηλής καθαρότητας Αλουμίνιο (πρόσφατη καθαρή επιφάνεια)	0.91
Οπτικός ανακλαστήρας από ψεκασμένο αλουμίνιο	0.89
Υψηλής καθαρότητας Αλουμίνιο παραγόμενο με τη μέθοδο Brytal	0.89
Άσπρο γυαλί επαργυρωμένο (επιφάνεια νέα καθαρή)	0.88
Αλουμίνιο βαμμένο με οξειδίο του Πυριτίου (επιφάνεια καθαρή)	0.87
Έλασμα αλουμινίου 99.5 καθαρό	0.86
Επαργιλωμένο 3M ακρυλικό (επιφάνεια νέα)	0.86
Επαργιλωμένο 3M ακρυλικό (μετά από έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία 1 έτους)	0.85
Αλουμίνιο παραγόμενο με τη μέθοδο Alzac	0.85
Τύπος αλουμινίου C Mylar (από τη πλευρά Mylar)	0.75

Από τον παραπάνω πίνακα επιλέχθηκε το Επαργιλωμένο 3M ακρυλικό με ανακλαστικότητα 0.86 για την επένδυση του πιάτου.

Η μεμβράνη αγοράστηκε από την εταιρεία 3M. Αγοράστηκαν 3.6m² (1.02m πλάτος * 3m μήκος) με 50€/m². Το κόστος της ήταν 200€ με Φ.Π.Α. Είναι η σειρά 7755-420 χρώματος ασημί. Η μεμβράνη είναι ανθεκτική, σταθερά τρισδιάστατη, γυαλιστερή και αδιαφανής και αποτελείται από δύο μέρη. Το κύριο μέρος είναι η ίδια η μεμβράνη και το δεύτερο μέρος είναι το προστατευτικό της κολλώδης επιφάνειας της μεμβράνης. Όταν εφαρμοστεί σύμφωνα με την προτεινόμενη διαδικασία της 3M η διάρκεια ζωής της στην Μεσογειακή Ευρώπη είναι έως 5 χρόνια. Ελάχιστη θερμοκρασία εφαρμογής έως 4°C. Αυτή η μεμβράνη προτείνεται για χρήση επίπεδων επιφανειών και καμπυλοειδών επιφανειών.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Πάχος (ISO 4593)	0.09mm-0.11mm
Αντοχή σε εφελκυσμό (ISO 1184-1983)	45N/25mm στους 23°C
Επιμήκυνση (ISO 1184-1983)	50% στους 23°C
Διαστατική σταθερότητα	<-0.8mm
Εύρος θερμοκρασίας	-35°C έως τους 95°C

ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
Σύσταση καυσίμου (85% διαλυτικό μπουγιάς/15% ξυλένιο)	1 ώρα	Μαλακώνουν οι άκρες του
Diesel	1 ώρα	Μαλακώνουν οι άκρες του
10% Υδροχλωρικό οξύ	10 λεπτά	Καμία επίδραση
10% Υδροξείδιο αμμωνίου	10 λεπτά	Καμία επίδραση

4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

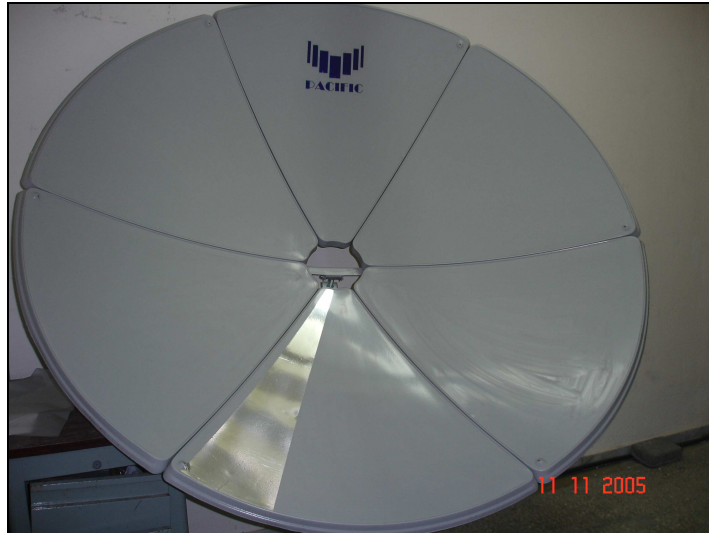
Το πιάτο αποτελείται από έξι φέτες. Η τοποθέτηση της μεμβράνης δεν μπορούσε να γίνει ενιαία για όλο το πιάτο, λόγω καμπυλότητας της κάθε φέτας, γι' αυτό το λόγο τοποθετήθηκε μεμονωμένα σε κάθε φέτα πιάτου. Η κάθε φέτα χωρίστηκε σε τέσσερις τομείς. Για τον κάθε τομέα δημιουργήθηκαν τέσσερα πατρόν (σχήμα 4.2) βάση των οποίων κόπηκε η μεμβράνη. Τα τέσσερα πατρόν χρησιμοποιήθηκαν και για τις έξι φέτες του παραβολικού πιάτου. Έτσι η μεμβράνη κόπηκε σε 24 φύλλα.



Σχήμα 4.2 Τα τέσσερα πατρόν τοποθετημένα στους τέσσερις τομείς της μίας φέτας του πιάτου.

Στην αρχή το παραβολικό πιάτο πλύθηκε με διαλυτικό νίτρου και μετά με καθαρό οινόπνευμα. Στη συνέχεια ψεκάστηκε η περιοχή του τμήματος της φέτας του πιάτου στην οποία θα γινόταν η τοποθέτηση του πρώτου φύλλου της μεμβράνης, με διάλυμα το οποίο περιείχε νερό με λίγες σταγόνες από απορρυπαντικό πιάτων. Μετά τον ψεκάσμό τοποθετήθηκε το πρώτο φύλλο της μεμβράνης (σχήμα 4.3) το οποίο ξαναψεκάστηκε με το διάλυμα αρκετές φορές και πιέστηκε με φορά από τις εσωτερικές επιφάνειες προς τις εξωτερικές, με εργαλείο καθαρισμού υαλοπινάκων (αποστράγγιση) το οποίο λειάνθηκε στις άκρες για να αποκτήσει την καμπυλότητα του πιάτου (σχήμα 4.4).

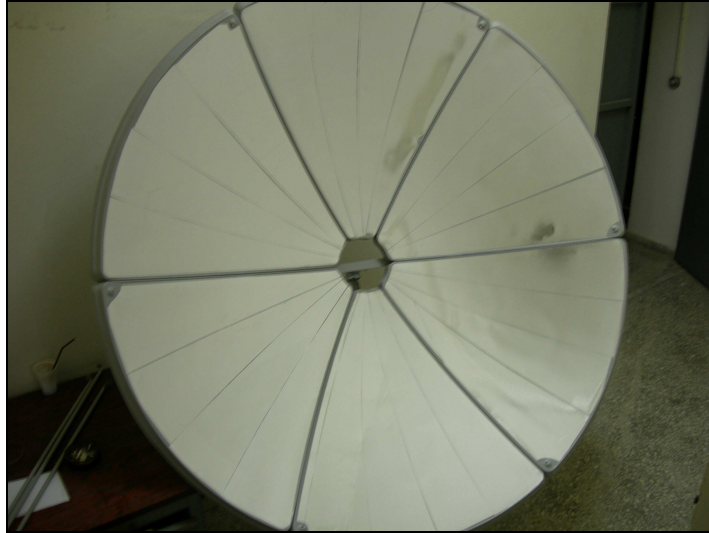
Η παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση και των υπόλοιπων 23 φύλλων της μεμβράνης στις υπόλοιπες φέτες του πιάτου (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.3 Τοποθέτηση του πρώτου φύλλου μεμβράνης στην μία από τις έξι φέτες του παραβολικού πιάτου.



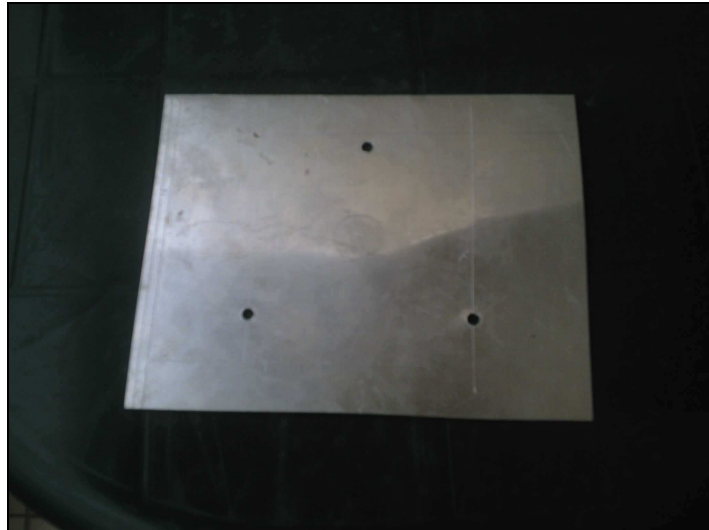
Σχήμα 4.4 Εργαλείο καθαρισμού υαλοπινάκων.



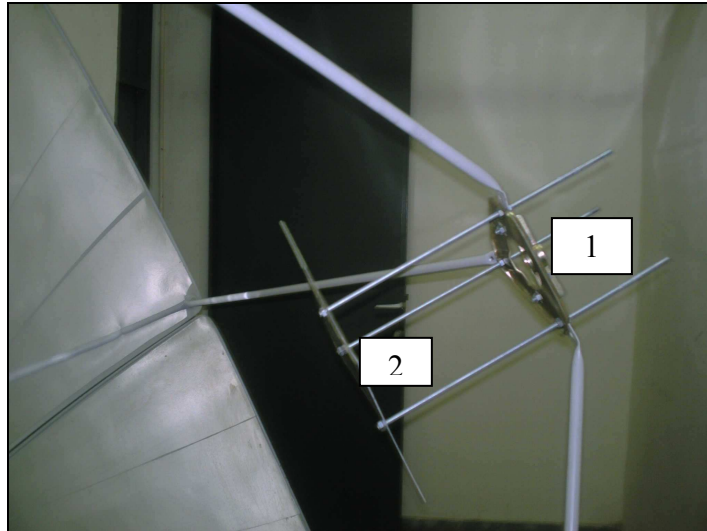
Σχήμα 4.5 Τοποθέτηση και των υπόλοιπων 23 φύλλων της μεμβράνης σ' όλες τις φέτες του παραβολικού πιάτου. Τελική μορφή παραβολικού πιάτου.

4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΣΗΜΕΙΟΥ ΕΣΤΙΑΣΗΣ

Για την αποτύπωση του σημείου εστίασης κατασκευάστηκε πλακέτα από αλουμίνιο διαστάσεων 20x25 cm (σχήμα 4.6). Συναρμολογήθηκε με 3 ντίζες με τη βάση στήριξης του Inb (σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.6 Η πλακέτα αλουμινίου που κατασκευάστηκε διαστάσεων 20x25 cm.



Σχήμα 4.7 Συναρμολόγηση πλακέτας αλουμινίου με τη βάση στήριξης του Inb
(1) βάση στήριξης Inb (βάση στήριξης ψηφιακού δέκτη)
(2) πλακέτα αλουμινίου

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας πειραματικής διαδικασίας είναι η εύρεση του σημείου εστίασης και η αποτύπωση του ειδώλου.

5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ

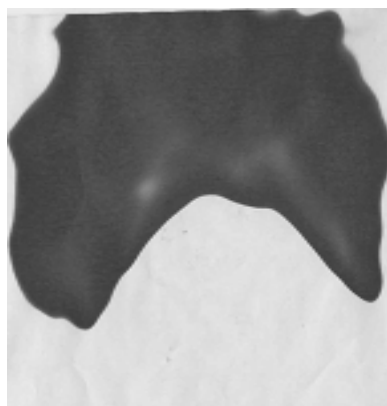
Η διαδικασία των αποτυπώσεων έγινε ως εξής:

Για την πρώτη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε κάτω από την πλακέτα αλουμινίου (σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Τοποθέτηση θερμογραφικού χαρτιού κάτω από την πλακέτα αλουμινίου για την πρώτη μέτρηση. Η πλακέτα αλουμινίου τοποθετήθηκε στα -21cm κάτω από το σημείο συγκράτησης του Inb .

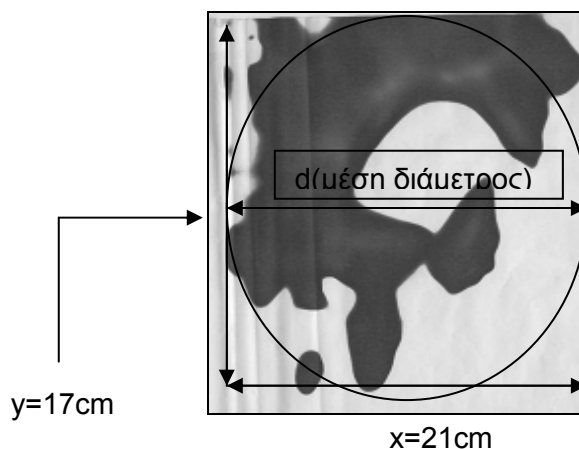
Η πλακέτα αλουμινίου για την πρώτη μέτρηση τοποθετήθηκε στην απόσταση -21 cm κάτω από το σημείο συγκράτησης του Inb (σχήμα 5.1). Στη συνέχεια το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε για $t=20\text{ sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την πρώτη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.2 και η διάμετρος του είναι: $d=13.35\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.2 Αποτύπωση ειδώλου για την πρώτη μέτρηση, σε απόσταση -21cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=20\text{sec}$, με διάμετρο $d=13.35\text{cm}$.

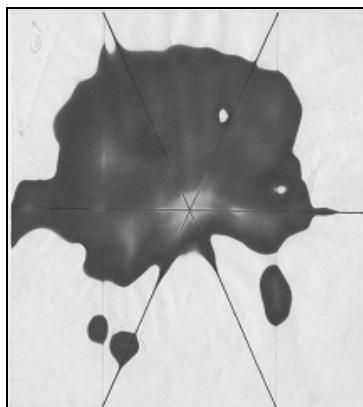
Για την δεύτερη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα

τοποθετήθηκε στα -19cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=20\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την δεύτερη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.2 και η διάμετρος του είναι $d=19\text{cm}$ (πίνακας 5).



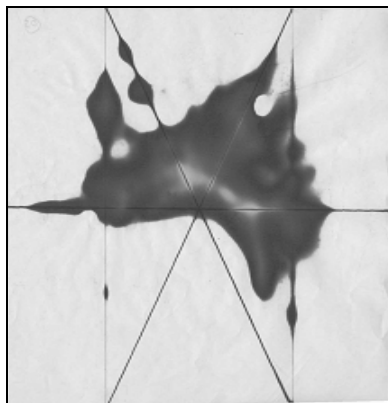
Σχήμα 5.3 Αποτύπωση ειδώλου για την δεύτερη μέτρηση, σε απόσταση -19cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=20\text{sec}$, με διάμετρο $d=19\text{cm}$.

Για την τρίτη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -17cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=25\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την τρίτη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.4 και η διάμετρος του είναι $d=15.75\text{cm}$ (πίνακας 5).



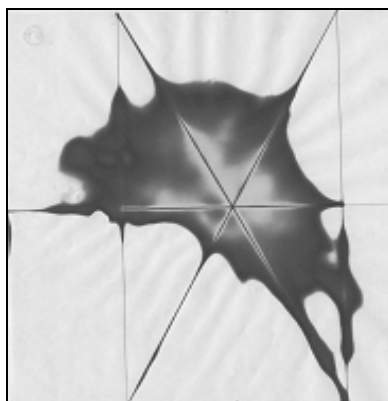
Σχήμα 5.4 Αποτύπωση ειδώλου για την τρίτη μέτρηση, σε απόσταση -17cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=25\text{sec}$, με διάμετρο $d=15.75\text{cm}$.

Για την τέταρτη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -15cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=16\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την τέταρτη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.5 και η διάμετρος του είναι $d=13.65\text{cm}$ (πίνακας 5).



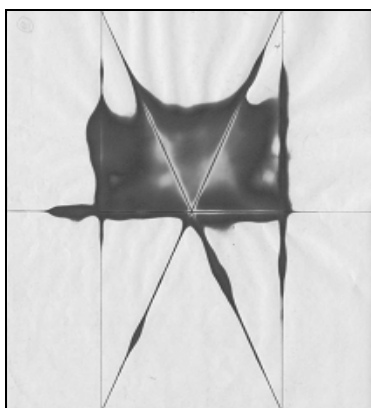
Σχήμα 5.5 Αποτύπωση ειδώλου για την τέταρτη μέτρηση, σε απόσταση -15cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=16\text{sec}$, με διάμετρο $d=13.65\text{cm}$.

Για την πέμπτη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -13cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=10\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την πέμπτη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.6 και η διάμετρος του είναι $d=13.25\text{cm}$ (πίνακας 5).



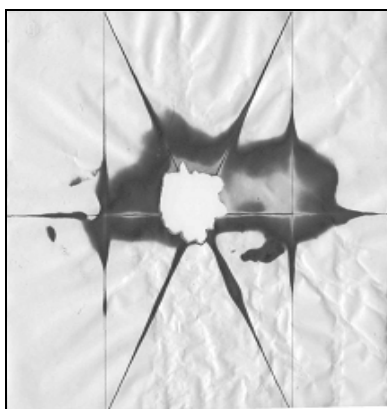
Σχήμα 5.6 Αποτύπωση ειδώλου για την πέμπτη μέτρηση, σε απόσταση -13cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=10\text{sec}$, με διάμετρο $d=13.25\text{cm}$.

Για την έκτη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -11cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=10\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την έκτη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.7 και η διάμετρος του είναι $d=11.6\text{cm}$ (πίνακας 5).



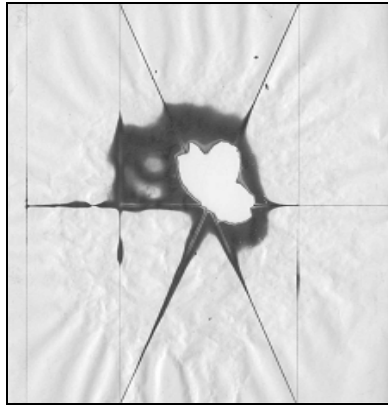
Σχήμα 5.7 Αποτύπωση ειδώλου για την έκτη μέτρηση, σε απόσταση -11cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=10\text{sec}$, με διάμετρο $d=11.6\text{cm}$.

Για την έβδομη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -9cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=5\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την έβδομη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.8 και η διάμετρος του είναι $d=11.4\text{cm}$ (πίνακας 5).



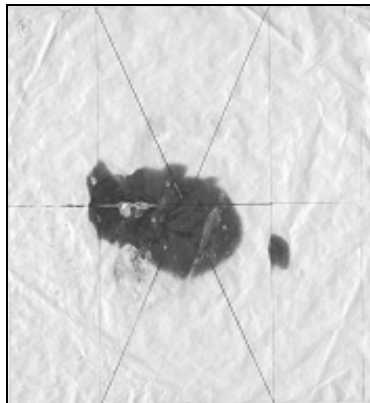
Σχήμα 5.8 Αποτύπωση ειδώλου για την έβδομη μέτρηση, σε απόσταση -9cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=5\text{sec}$, με διάμετρο $d=11.4\text{cm}$.

Για την όγδοη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -7cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=3\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την όγδοη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.9 και η διάμετρος του είναι $d=9.65\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.9 Αποτύπωση ειδώλου για την όγδοη μέτρηση, σε απόσταση -7cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=3\text{sec}$, με διάμετρο $d=9.65\text{cm}$.

Για την ένατη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε πάλι θερμογραφικό χαρτί (ψεκάστηκε με νερό) το οποίο τοποθετήθηκε πάλι κάτω από την πλακέτα αλουμινίου. Σ' αυτή την μέτρηση η πλακέτα τοποθετήθηκε στα -5cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=5\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την ένατη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.10 και Η διάμετρος του είναι $d=8.25\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.10 Αποτύπωση ειδώλου για την ένατη μέτρηση, σε απόσταση -5cm , χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=5\text{sec}$, με διάμετρο $d=8.25\text{cm}$.

Στην δέκατη μέτρηση επειδή πλησιάσαμε αρκετά κοντά προς το υποτιθέμενο κέντρο εστίασης και λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας δεν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε θερμογραφικό χαρτί, γιατί σ' αυτό το σημείο καιγόταν και δεν μπορούσαμε να πάρουμε αποτύπωση. Επομένως χρησιμοποιήσαμε φύλλο μολύβδου για τις μετρήσεις 10,11,12.

Για την δέκατη μέτρηση το φύλλο μολύβδου τοποθετήθηκε στα -3.5cm . Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t= 16\text{sec}$. Η

αποτύπωση του ειδώλου για την δέκατη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.11 και η διάμετρος του είναι $d=5.15\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.11 Αποτύπωση ειδώλου στο φύλλο μολύβδου στην απόσταση -3.5cm , για χρόνο έκθεσης $t=16\text{sec}$, με διάμετρο $d=5.15\text{cm}$.

Για την εντέκατη μέτρηση το φύλλο μολύβδου τοποθετήθηκε στο υποτιθέμενο κέντρο, δηλαδή στην απόσταση 0 και το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=12\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την εντέκατη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.12 και η διάμετρος του είναι $d=3.75\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.12 Αποτύπωση ειδώλου στο φύλλο μολύβδου στην απόσταση 0, για χρόνο έκθεσης $t=12\text{sec}$, με διάμετρο $d=3.75\text{cm}$.

Για την δωδέκατη μέτρηση το φύλλο μολύβδου τοποθετήθηκε στην απόσταση $+2\text{cm}$ πάνω από την βάση στήριξης του Inb (η βάση του Inb αντικαταστάθηκε από το τρίγωνο που φαίνεται στο σχήμα 5.13 για να μην δημιουργείται σκίαση από αυτή) και το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε και πάλι για $t=20\text{sec}$. Η αποτύπωση του ειδώλου για την δωδέκατη μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.14 και η διάμετρος του είναι $d=4.4\text{cm}$ (πίνακας 5).



Σχήμα 5.13 Τοποθέτηση φύλλου μολύβδου στην απόσταση +2cm. Η βάση του Inb αντικαταστάθηκε από το τρίγωνο που φαίνεται στο σχήμα για να μην δημιουργείται σκίαση από αυτό.

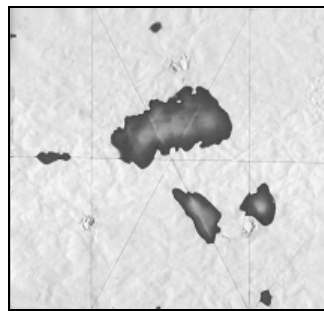


Σχήμα 5.14 Αποτύπωση ειδώλου για την δωδέκατη μέτρηση, στο φύλλο μολύβδου σε απόσταση +2cm, χρόνου ηλιακής έκθεσης $t=20\text{sec}$, με διάμετρο $d=4.4\text{cm}$.

Για την δέκατη τρίτη μέτρηση η πλακέτα αλουμινίου με το θερμογραφικό χαρτί τοποθετήθηκε στην απόσταση +4cm (σχήμα 5.15). Σ' αυτή την μέτρηση το θερμογραφικό χαρτί ψεκάστηκε με νερό. Το παραβολικό πιάτο στράφηκε με κατεύθυνση τον ήλιο και παρέμεινε για $t=20\text{sec}$. Η αποτύπωση ειδώλου για αυτή την μέτρηση φαίνεται στο σχήμα 5.16.



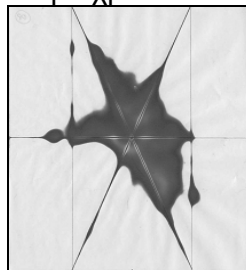
Σχήμα 5.15 Τοποθέτηση πλακέτας αλουμινίου στην απόσταση +4cm.



Σχήμα 5.16 Αποτύπωση ειδώλου για την δέκατη τρίτη μέτρηση σε απόσταση +4cm για χρόνο έκθεσης $t=20\text{sec}$, με διάμετρο $d=9\text{cm}$.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

1. Στο σχήμα 5.2 παρατηρούμε ότι έχει δημιουργηθεί μόνο το μισό είδωλο.
2. Στο σχήμα 5.3 παρατηρούμε την σύγκλιση ακτινών και την δημιουργία κενού στο κέντρο.
3. Η αποτύπωση ειδώλου στο σχήμα 5.6 έγινε στην απόσταση -13cm , με χρόνο έκθεσης $t=10\text{sec}$. Στην ίδια απόσταση πήραμε και μια άλλη αποτύπωση ειδώλου (σχήμα 5.17) με χρόνο έκθεσης $t=20\text{sec}$. Ο χρόνος έκθεσης για αυτήν την αποτύπωση είναι μεγαλύτερος από τον προηγούμενο γιατί ο άνεμος αφαιρούσε θερμότητα και δεν μπορούσε να αποτυπωθεί σε μικρότερο χρόνο.



Σχήμα 5.17

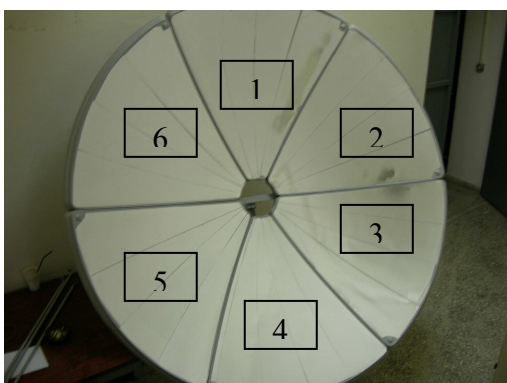
4. Στο σχήμα 5.8 παρατηρούμε ότι το θερμογραφικό χαρτί έχει καεί στο κέντρο εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην απόσταση στην οποία είναι

τοποθετημένο το θερμογραφικό χαρτί (- 9cm κατεύθυνση προς το σημείο εστίασης). Το ίδιο γίνεται και στο σχήμα 5.9.

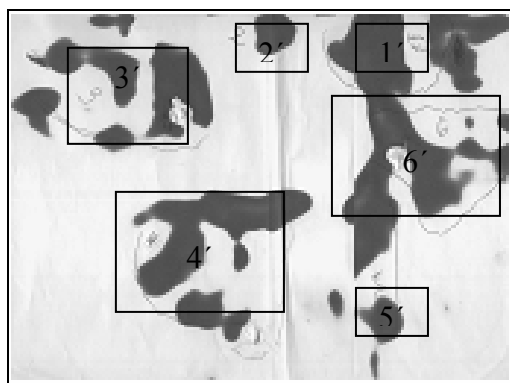
5. Στο σχήμα 5.14 παρατηρούμε ότι έχουν δημιουργηθεί και άλλα είδωλα εκτός από ένα, γιατί το φύλλο μολύβδου είναι τοποθετημένο στην απόσταση +2cm , δηλαδή πάνω από το σημείο εστίασης, με αποτέλεσμα το είδωλο να απλώνεται λόγω απόκλισης των ακτινών. Το ίδιο συμβαίνει και στο σχήμα 5.16 στο οποίο η αποτύπωση έχει γίνει σε θερμογραφικό χαρτί και διακρίνεται καλύτερα.

5.2.1 ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΛΥΨΕΙΣ

Στην απόσταση -19cm έγιναν διαδοχικές αποκαλύψεις για την εύρεση ειδώλου της κάθε τριγωνικής επιφάνειας. Η αποτύπωση ειδώλου για την κάθε τριγωνική επιφάνεια φαίνεται στο σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.17 Η αριθμηση των έξι τριγωνικών επιφανειών του παραβολικού συγκεντρωτή.



Σχήμα 5.19 Αποτύπωση ειδώλου για κάθε τριγωνική επιφάνεια.

- 1'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 1.
- 2'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 2.
- 3'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 3.
- 4'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 4.
- 5'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 5.
- 6'. Το είδωλο που σχηματίζει η τριγωνική επιφάνεια 6.

Η διαδικασία των διαδοχικών αποκαλύψεων για αποτύπωση ειδώλου της κάθε τριγωνικής επιφάνειας θα μπορούσε να γίνει σε αποστάσεις κάτω από το σημείο εστίασης και πάνω από το σημείο εστίασης με στόχο την βελτίωση του σημείου εστίασης.

5.3 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Ο πίνακας 5 συνοψίζει τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας για την αποτύπωση ειδώλου του ήλιου στο σημείο εστίασης. Η πρώτη στήλη περιέχει τον αύξων αριθμό των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Η δεύτερη στήλη περιέχει το υλικό αποτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε στην εκάστοτε μέτρηση ανάλογο της απόστασης από το υποτιθέμενο σημείο εστίασης (θερμογραφικό χαρτί, φύλλο μολύβδου Pb). Η τρίτη στήλη περιέχει την απόσταση στην οποία τοποθετήθηκε το υλικό αποτύπωσης. Η τέταρτη στήλη περιέχει τον χρόνο ηλιακής έκθεσης του υλικού. Η πέμπτη στήλη περιέχει τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (τα δεδομένα λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό ιστό της σχολής). Και η τελευταία στήλη περιέχει την διάμετρο των αποτυπώσεων στο αντίστοιχο υλικό (θερμογραφικό χαρτί, φύλλο μολύβδου Pb).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Α/Α	ΥΛΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ LNB(cm)	ΧΡΟΝΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ t(sec)	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ B(W/m ²) V(m/s) T _a (⁰ C) RH(%)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΕΙΔΩΛΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ X(cm) Y(cm)	ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΕΙΔΩΛΟΥ d(cm)
1	Θερμογραφικό χαρτί	-21	20	B=710 V=2.742 T _a =14.72 RH=52.87	16.7 20	18.35
2	Θερμογραφικό χαρτί	-19	20	B=710 V=2.742 T _a =14.72 RH=52.87	21 17	19
3	Θερμογραφικό χαρτί	-17	25	B=789 V=2.598 T _a =16.07 RH=61.21	8.5 13	15.75
4	Θερμογραφικό χαρτί	-15	16	B=687 V=2.64 T _a =16.34 RH=56.64	15.8 11.5	13.65
5	Θερμογραφικό χαρτί	-13	10	B=692 V=2.38 T _a =20.42 RH=60.41	15.5 11	13.25
6	Θερμογραφικό χαρτί	-11	10	B=692 V=2.38 T _a =20.42 RH=60.41	13.2 10	11.6
7	Θερμογραφικό χαρτί	-9	5	B=692 V=2.38 T _a =20.42 RH=60.41	15 7.8	11.4
8	Θερμογραφικό χαρτί	-7	3	B=552.4 V=2.193 T _a =20.72 RH=56.94	11.9 7.4	9.65
9	Θερμογραφικό χαρτί	-5	5	B=552.4 V=2.193 T _a =20.72 RH=56.94	10.6 5.9	8.25
10	Φύλλο Pb	-3.5	16	B=549.6 V=5.635 T _a =18.36 RH=52.1	7.0 3.3	5.15
11	Φύλλο Pb	0	12	B=577.8 V=3.01 T _a =22.98 RH=67.77	5.5 2.0	3.75
12	Φύλλο Pb	+2	20	B=577.8 V=3.01 T _a =22.98 RH=67.77	4.8 2.0	4.4
13	Φύλλο Pb	+4	20	B=551 V=2.675 T _a =25.08 RH=80.6	10 12	11

Επεξήγηση συμβόλων Πίνακα 5 :

(-) Κατεύθυνση από το σημείο συγκράτησης του Inb προς το πιάτο.

(+) Κατεύθυνση πάνω από το σημείο συγκράτησης του Inb απομάκρυνση από το πιάτο.

B: ένταση ηλιακής ακτινοβολίας(W/m^2)

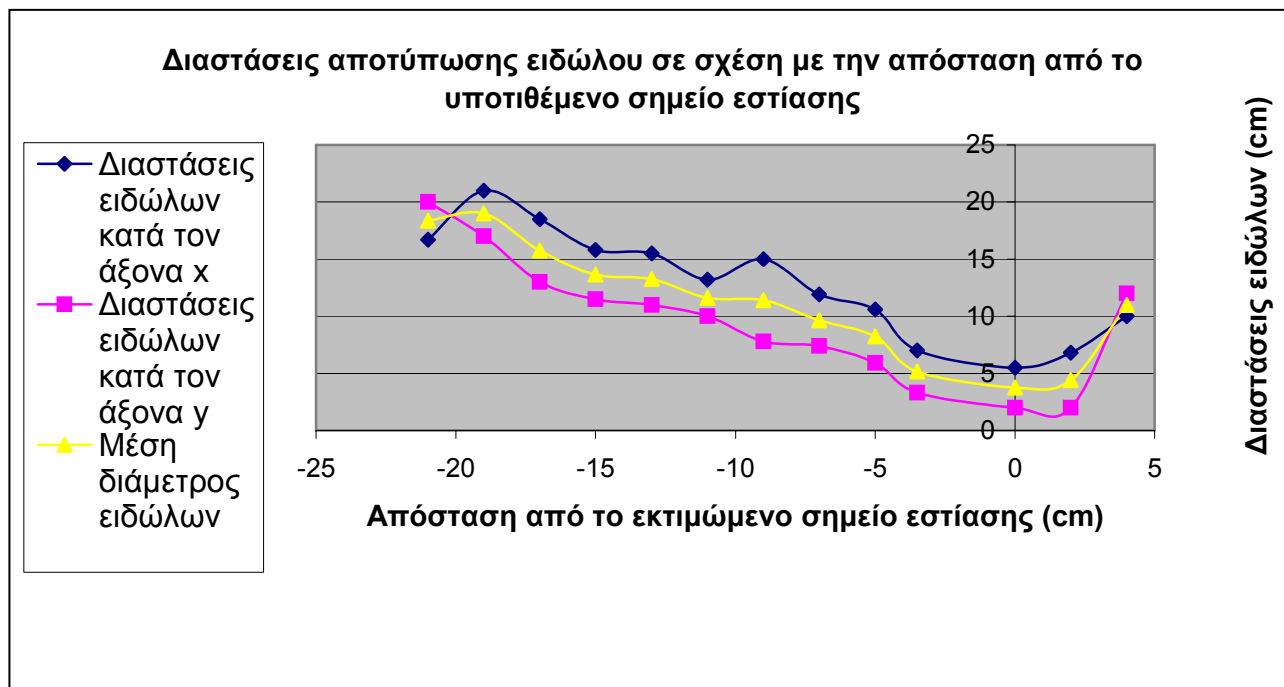
V: ταχύτητα ανέμου(m/s)

T_a: θερμοκρασία περιβάλλοντος($^{\circ}C$)

RH: υγρασία%

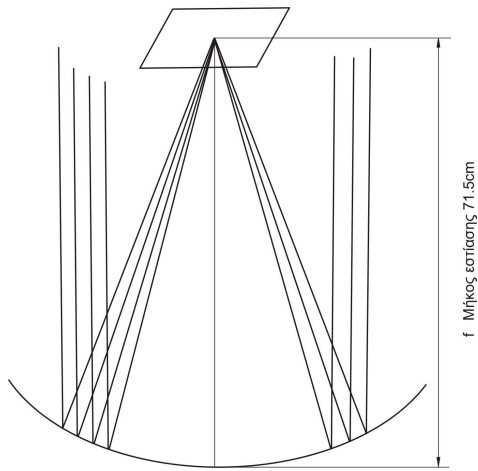
5.3.1 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΕΙΔΩΛΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΥΠΟΤΙΘΕΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΣΤΙΑΣΗΣ.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις διαστάσεις των αποτυπωμένων ειδώλων σε διάφορες αποστάσεις από το υποτιθέμενο σημείο εστίασης (από πίνακα 5).

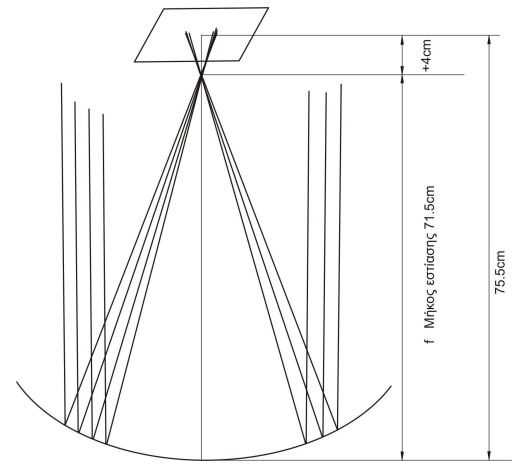


ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ:

Παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται η απόσταση και πλησιάζουμε στο εκτιμώμενο σημείο εστίασης, η μέση διάμετρος των ειδώλων μειώνεται. Το είδωλο του ήλιου μειώνεται σταδιακά ανάλογα με την απόσταση. Όταν η πλακέτα είναι τοποθετημένη στην απόσταση 0 (μήκος εστίασης 71.5cm) οι ακτίνες του ήλιου που προσπίπτουν στο παραβολικό πιάτο, ανακλώνται όλες στο ίδιο σημείο (σχήμα 5.20), δημιουργώντας έτσι το είδωλο του ήλιου στην μικρότερη διάμετρο (σχήμα 5.12). Επομένως το σημείο εστίασης του παραβολικού πιάτου είναι στα 71.5cm. Επίσης παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το εκτιμώμενο σημείο εστίασης το είδωλο του ήλιου μεγαλώνει (σχήμα 5.14, 5.16), γιατί οι ακτίνες του ήλιου αρχίζουν να αποκλίνουν (σχήμα 5.21).



Σχήμα 5.20
 Τοποθέτηση πλακέτας στο σημείο
 εστίασης 71.5cm.



Σχήμα 5.21
 Τοποθέτηση πλακέτας στα 75.5cm.

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το εύρος ειδώλου για τέλεια παραβολή δίνεται από την εξίσωση (3.2.3):

$$W_{\text{III}} = \frac{2 \cdot r_r \cdot \sin 16'}{\cos(\phi + 16')} = \frac{2 \cdot 0.99 \cdot \sin 0.27^\circ}{\cos(64.1^\circ + 0.27^\circ)} = 0.017\text{m} = 1.7\text{cm}$$

Το πειραματικό εύρος ειδώλου είναι η διάμετρος ειδώλου στο σημείο εστίασης και είναι $W_{\text{II}}=3.75\text{cm}$ (από πίνακα 5).

Άρα το W_{II} είναι μεγαλύτερο από το W_{III} ($3.75\text{cm} > 1.7\text{cm}$). Αυτό συμβαίνει λόγω ατελειών στο σχήμα της παραβολικής διατομής, όπου παρατηρείται διασπορά ειδώλου, δηλαδή μετά την ανάκλαση των ακτινών το γωνιακό εύρος των $32'$ αυξάνεται κατά την γωνία διασποράς δ (σχήμα 3.6). Η γωνία δ είναι 0.39° . Η γωνία υπολογίστηκε από την εξίσωση (3.2.5):

$$W_{\text{II}} = \frac{2 \cdot r_r \cdot \sin(\delta/2 + 16')}{\cos(\phi + \delta/2 + 16')} = \frac{2 \cdot 0.99 \cdot \sin(\delta/2 + 0.27^\circ)}{\cos(64.1^\circ + \delta/2 + 0.27^\circ)} = \frac{1.98 \cdot [(\sin \delta/2 \cdot \cos 0.27^\circ) + (\cos \delta/2 \cdot \sin 0.27^\circ)]}{\cos(64.37^\circ + \delta/2)}$$

$$0.0375 = \frac{1.98 \cdot [(\sin \delta/2 \cdot \cos 0.27^\circ) + (\cos \delta/2 \cdot \sin 0.27^\circ)]}{\cos 64.37^\circ \cdot \cos \delta/2 - \sin 64.37^\circ \cdot \sin \delta/2} \Rightarrow \hat{\delta} = 0.39^\circ$$

Ο λόγος συγκέντρωσης για τέλεια παραβολή υπολογίζεται από την εξίσωση (2.4.1)

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad \text{όπου είναι : } A_a \text{ η επιφάνεια του συγκεντρωτήρα και}$$

$$A_r \text{ εύρος ειδώλου για τέλεια παραβολή}$$

$$A_a = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 0.9^2 = 2.5434\text{m}^2$$

$$D = 1.80\text{m} \text{ (διάμετρος συγκεντρωτή)}$$

$$r = 0.9\text{m} \text{ (ακτίνα συγκεντρωτή)}$$

$$A_r = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 0.008^2 = 0.0002\text{m}^2$$

$$W_{\text{III}} = 0.017\text{m} \text{ (εύρος ειδώλου για τέλεια παραβολή)}$$

$$r = 0.0085\text{m} \text{ (ακτίνα ειδώλου για τέλεια παραβολή)}$$

$$\text{Άρα ο λόγος συγκέντρωσης για τέλεια παραβολή είναι } C_{\text{III}} = \frac{2.5434\text{m}^2}{0.0002\text{m}^2} = 12717$$

Ο πειραματικός λόγος συγκέντρωσης υπολογίζεται με την ίδια εξίσωση:

$$C_{\Pi} = \frac{A_{\alpha}}{A_r} \quad \text{όπου είναι : } A_{\alpha} \text{ η επιφάνεια του συγκεντρωτήρα και}$$

$$A_r \text{ πειραματικό εύρος ειδώλου}$$

$$A_{\alpha} = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 0.9^2 = 2.5434 \text{m}^2$$

$$D = 1.80 \text{m} (\text{διάμετρος συγκεντρωτή})$$

$$r = 0.9 \text{m} (\text{ακτίνα συγκεντρωτή})$$

$$A_r = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 0.0187^2 = 0.0011 \text{m}^2$$

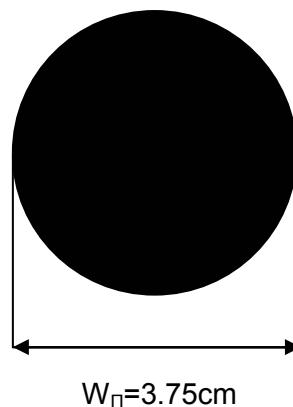
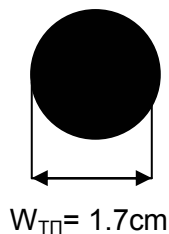
$$W_{\Pi} = 0.0375 \text{m} (\text{πειραματικό εύρος ειδώλου})$$

$$r = 0.0187 \text{m} (\text{ακτίνα πειραματικού ειδώλου})$$

Άρα ο πειραματικός λόγος συγκέντρωσης είναι: $C_{\Pi} = \frac{2.5434 \text{m}^2}{0.0011 \text{m}^2} = 2312.1$

Παρατηρούμε ότι ο θεωρητικός λόγος συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος από τον πειραματικό λόγο συγκέντρωσης ($12717 > 2312.1$) γιατί το θεωρητικό εύρος ειδώλου είναι μικρότερο από το πειραματικό εύρος ειδώλου.

Για τέλεια παραβολή	Για μη τέλεια παραβολή
$W_{\Pi} = 1.7 \text{cm}$	$W_{\Pi} = 3.75 \text{cm}$
$C_{\Pi} = 12717$	$C_{\Pi} = 2312.1$
$\theta_s = 0.54^\circ$ (γωνία ήλιου)	$\delta + \theta_s = 0.39^\circ + 0.54^\circ$ (γωνία διασποράς και γωνία ήλιου)



5.5 ΠΕΔΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

1. Διαδοχικές αποκαλύψεις σε αποστάσεις κάτω από το σημείο εστίασης και πάνω από αυτό, για αποτύπωση ειδώλου της κάθε τριγωνικής επιφάνειας, με στόχο την βελτίωση των ανακλαστικών επιφανειών, οπότε και του εύρους της επιφάνειας εστίασης.
2. Κατασκευή κοίλου δέκτη και μέτρηση σταθερής θερμοκρασίας εσωτερικά του.
3. Ενσωμάτωση μηχανής Stirling και συστήματος προσανατολισμού για συνεχή παρακολούθηση του ήλιου (η κατασκευή συστήματος προσανατολισμού έχει δοθεί σε φοιτητή Ηλεκτρονικής σαν θέμα πτυχιακής) με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.
4. Εφαρμογή του σαν «ηλιακό μαγειρείο», δηλαδή τοποθέτηση στο σημείο εστίασης ενός μαύρου μεταλλικού δοχείου με τροφή για μαγείρεμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1]. Ιωάννης Κ. Καλδέλης, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη 2001
- [2]. Α. Νεοκλέους, Σ. Κωνσταντινίδη, Φωτοβολταικά Συστήματα, Εκδόσεις ΙΩΝ 1999
- [3]. Κίμωνος Α. Αντωνοπούλου Καθηγητή Ε.Μ Πολυτεχνίου, Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα, Αθήνα 1997 (Σημειώσεις μαθήματος)
- [4]. Ανδρέας Ε. Μοσχάτος, Ηλιακή Ενέργεια, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 1992
- [5] www.aie.org.au/national/factsheet/FS5_SOLAR%20THERMAL%20ENERGY.pdf
- [6] http://www.elkraft.ntnn.no/eno/konf_pub/ISES
- [7] http://www.solarpaces.org/solar_through.pdf
- [8] <http://www.flagsd.com/SEGS>
- [9] <http://www.renewablesq.org/docs/Web/AppendixE.pdf>
- [10] http://www.solarpaces.org/solar_dish.pdf
- [11] <http://www.solarpaces.org/publications/sp99tec.htm>
- [12] http://www.solarpaces.org/solar_tower.pdf