ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δάρλα Αλέξανδρου

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Δέρβος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Ιούλιος 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΓΚΕΝΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δάρλα Αλέξανδρου

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2012

Κωνσταντίνος Δέρβος	Παναγιώτα Βασιλείου	Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.	Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

……

Δάρλας Αλέξανδρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Δάρλας Αλέξανδρος,2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη των ηλιακών συγκεντωτικών συστημάτων η οποία τα τελευταία χρόνια αναπτύσεται όλο και περισότερο και αποτελεί σημαντική υποψήφια για την μελλοντική παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και η οποία έχει δοκιμασθεί σκυρίως στην Ισπανία και τις ΗΠΑ αλλά έχει μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης στην Μεσόγειο και στην Ελλάδα λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας στις χώρες αυτές.

Αποτελείται από επτά κεφάλαια.Στο πρώτο δίνεται ένα γενικό πλαίσιο το οποίο είναι κοινό σε όλα τα είδη των συγκεντωτικών συστημάτων δηλαδή τα στάδια που ακολουθούνται στα ηλιακά συστήματα από την απορόφηση της ακτινοβολίας,την μετατροπή της ηλιακής σε θερμική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.Τα ηλιακά συστήματα είναι τεσάρων ειδών :τα παραβολικά κοίλα,οι ηλιακοί πύργοι,οι ηλιακοί δισκοι και τα γραμμικά συστήματα Fresnel.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται η περιγραφή των παραβολικών κοίλων,των εξαρτημάτων της τεχνολογίας αυτης καθώς και μια ιστορική αναδρομή των συστημάτων που έχουν χρησιμοποιηθει και οι προπτικές για ανάπτυξη.

Στο τρίτο δίνεται η περιγραφή των ηλιακών πύργων(η Κεντρικού Δέκτη),των εξαρτημάτων του και των εμπορικών εγκαταστάσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Στο τέταρτο αναπτύσονται οι ηλιακοί δίσκοι-μηχανές με τα περιθώρια ανάπτυξης τους ,ενώ στο πέμπτο αναπτύσονται τα συστήματα Fresnel των οποίων η τεχνολογία συγκρίνεται με την τεχνολογία των παραβολικών κοίλων που ναι πολλά χρόνια στην αγορά.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην κατάσταση της αγοράς και τις πολιτικές που σχέση με τα ηλιακά συγκεντρωτικά συστήματα αναλυτικά σε κάθε περιοχή με ιδιαίτερη έμφαση στην Ισπανία και τις ΗΠΑ.

Στο εβδομο κεφάλαιο αναπτύσεται η ηλιακή γεωμετρία και οι διάφοροι παράμετροι με βάση τους οποίους υπολογίζεται η αζιμούθεια γωνία και η ανύψωση του Ηλίου(δηλαδη η θεση του Ηλίου)για το έτος 2012 ανά πέντε λεπτά.

Στο όγδοο κεφάλαιο δίνεται μια περίληψη της ηλιακής συγκεντρωτικής τεχνολογίας

Λέξεις κλειδιά:Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα,Παραβολικά Κοίλα,Ηλιακοί Πύργοι Ισχυος,Συστήματα Δίσκου Μηχανής,Γραμικά Συστήματα Fresnel,Ηλιακή Γεωμετρία,Αζιμούθειο,Ύψος Ηλίου

Abstract

The purpose of this thesis is the study of Concentrated Solar Systems which are growing in recent years very quickly and are an important candidate for future production of electricity and which has been demonstrated mainly in Spain and the U.S.A , but has also great growth potential in the Mediterranean and in Greece because of the great sunshine in these countries.
It consists of seven chapters.In the first is given a general framework which is common to all types of concentrated solar systems stages. These stages are : the solar absorber of radiation, the conversion of solar to thermal energy and then into electrical energy.There are four types of solar systems: Parabolic Through, Solar Towers,Dish-Stirling systems and Linear Fresnel solar systems.
The second chapter describes the Parabolic Trough, its components , a historical overview and a development outlook.
The third describes the Solar Tower (the Central Receiver), its components and commercial installations that have been used.
In the fourth there is a description of Dish-Stirling systems and their perspectives, while the fifth describes the Linear Fresnel Systems which are compared with the technology of parabolic through systems which are tested for years in the market.
The sixth chapter is a reference to the global market situation and policies related to the solar concentrator systems in each area in detail, with particular emphasis on Spain and the USA.
The seventh chapter is developing Solar Geometry and it's various parameters, under which the Azimouth angle is calculated ,with the Elevation of the Sun (ie the position of the Sun) for the year 2012 every five minutes.
The eighth chapter gives an executive summary of the described concentrated solar technology

Key Words: Concentrating Solar Power, Parabolic Trough, Solar Tower, Central Receiver Systems, Solar Dish-Machine,Fresnel Systems ,Solar Geometry , Azimuth ,Elevation

1.Εισαγωγή 9
1.1 Γενική περιγραφή.....10
1.2 Γενικές αρχές.....12
1.3 Συγκέντρωση ακτινοβολίας 12
1.4 Απορρόφηση ακτινοβολίας 16
1.5 Αποθήκευση θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας.....17
1.6 Τεχνολογιες θερμικων ηλιακων σταθμων.....18
2. Συστήματα παραβολικών κοίλων(PTC).....24
2.1 Αρχες λειτουργιας και εξαρτήματα των PTC συστηματων 24
2.2 Διαθέσιμοι παραβολικοί συλέκτες.....30
2.3 Δείκτες Απόδοσης και απώλειες σε ένα PTC.....33
2.4 Ενεργειακό Ισοζύγιο.....39
2.5 Βιομηχανικές Εφαρμογές 41
2.5.1 Σύστημα Λέβητα μη εκτεθιμένου σε φωτιά(unfired).....42
2.5.2 Συστήματα “flash steam” 43
2.5.3 Αμεση παραγωγή ατμού(DSG) 44
2.6 Το μέγεθος και η διάταξη των ηλιακών πεδίων με PTC.....45
2.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με PTC.....47
2.8 Θερμικά Συστήματα Αποθήκευσης 49
2.8.1 Συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης.....50
2.8.2 Συστήματα με διπλο μέσο αποθήκευσης.....53
2.9 Άμεση παραγωγή ατμού(DSG) 56
2.10 Τα συγκροτήματα παραβολικών κοίλων SEGS.....60
3. Συστήματα ηλιακού πύργου ισχύος(CRS).....66
3.1 Γενικά. 66
3.2 Περιγραφή Τεχνολογίας.....66
3.3 Ηλιοστάτες και Τεχνολογία Συλλέκτη.....66
3.4 Ο ηλιακός δέκτης.....69

3.5 Είδη ηλιακών δεκτών.....73

3.5.1 Σωληνοειδείς Δέκτες.....77

3.5.2 Ογκομετρικοί δέκτες.....80

3.6 Εμπορικά CRS.....87

3.7 Συγκροτήματα νερού-ατμού :Σταθμός PS10.....88

3.8 Συστήματα Λιωμένου Αλατιού: Solar Two 91

3.9 Ογκομετρικοί Ατμοσφαιρικοί Δέκτες:PHOEBUS και Solair.....95

3.10 Ηλιακά Συστήματα προθέρμανσης : Το Έργο SOLGATE.....99

4. Συστήματα Δίσκου-Μηχανής(Stirling) 103

4.1 Γενική Περιγραφη 103

4.2 Συγκεντρωτές.....104

4.3 Δέκτες.....106

4.4 Κινητήρες 107

4.4.1 Μηχανές Stirling.....108

4.4.2 Κινητήρας Brayton.....109

4.5 Η εξελιξη στα συστήματα δίσκου-μηχανης.....110

5. Συλλέκτες Fresnel.....116

5.1 Περιγραφή Τεχνολογίας.....116

5.2 Το πρωτότυπο Solarmundo.....118

5.3 Θεωρητική απόδοση του συλλέκτη.....120

5.4 Διάφραγμα, περιοχή ανακλαστήρα και μικτής επιφάνειας.....120

5.5 Οπτική απόδοση.....121

5.6 Θερμική Απόδοση.....123

5.7 Καμπύλη της θερμικής απόδοσης.....124

5.8 Μοντέλο Προσομοίωσης.....125

5.9 Αποτελέσματα της προσομοίωσης.....126

5.10 Συμπεράσματα και επόμενα βήματα.....127

6. Η κατάσταση στην αγορα βάσει περιοχής.....129

7. Ηλιακή Γεωμετρία 149

8.Συμπέρασμα.....159

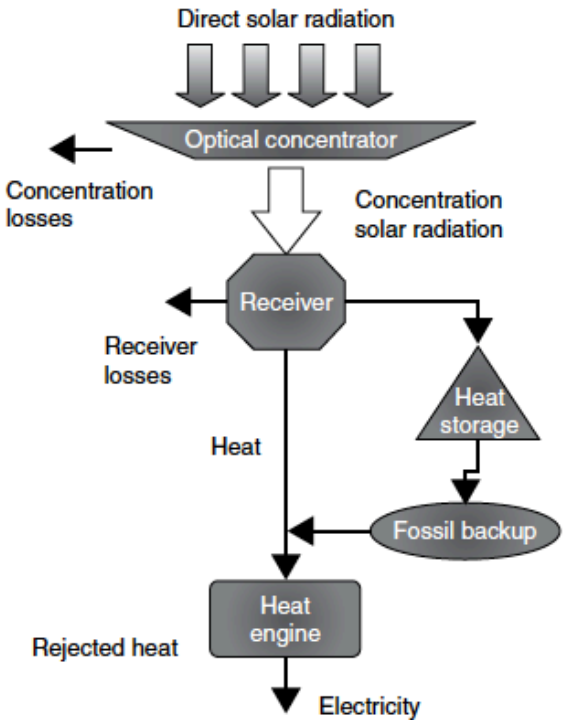
Βιβλιογραφία 164

1.Εισαγωγή

1.1 Γενική περιγραφή

Η ηλιακή ενέργεια έχει υψηλή εξεργειακή αξία, εξαιτίας του ήλιου που εχει μεγάλη θερμοκρασία. Περισσότερο από το 93% της ενέργειας θεωρητικά μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο από τους θερμοδυναμικούς κύκλους .Σύμφωνα με την θερμοδυναμική και την εξίσωση του Planck, η μετατροπή της ηλιακής θερμότητας σε μηχανικό έργο περιορίζεται από τον βαθμό απόδοσης του Carnot, και ως εκ τούτου για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση η ενέργεια θα πρέπει να μεταφερθεί σε ένα θερμικό υγρό που έχει θερμοκρασίες κοντά σε αυτές του ήλιου.Παρόλο που η ηλιακή ακτινοβολία είναι πηγή υψηλής θερμοκρασίας και ενέργειας με ακτινοβολία κοντά στο 63 MW/m^2, οι γεωμετρικοί περιορισμοί οδηγούν σε διαθέσιμη ακτινοβολία κοντά στο 1 kW/m^2. Επομένως, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τις ηλιακές θερμοηλεκτρικές μονάδες υψηλής θερμοκρασίας να κάνουν χρήση οπτικών συσκευών. Ένα απλοποιημένο μοντέλο της συγκέντρωτικής ηλιακής θερμικής ενέργειας (Concentrated Solar Power (CSP)) απεικονίζεται στο Σχήμα1.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός του CSP συνδυάζει μεγάλη οπτική επιφάνεια ,την συγκομιδή της ακτινοβολίας και την συγκέντρωση αυτής σε ένα ηλιακό δέκτη. Ο ηλιακός δέκτης έχει υψηλή διαπερατότητα και μιμείται όσο το δυνατόν περισσότερο τις επιδόσεις ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος. Στην περίπτωση της ηλιακής θερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται σε ένα θερμικό ρευστό σε θερμοκρασία αρκετά υψηλή



Σχήμα1: διάγραμμα ροής για τυπικό ηλιακό σταθμο

ώστε να τροφοδοτήσει μια θερμική μηχανή ή μια τουρμπίνα που παράγει ηλεκτρισμό. Τα συστήματα αυτά είναι σχεδιασμένα για κάθετη προσπίπτουσα ακτινοβολία των 800-900 W/m^2 ενώ η ετήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία ποικίλλει από 1600 - 2800 kWh/m^{2}ανάλογα με τον συγκεκριμένο χώρο. Το ποσοστό αυτό προϋποθέτει 2000-3500 ετήσιες ώρες πλήρους φορτίου.Στην συνέχεια η ενέργεια μετρέπεται σε θερμικη και από εκει σε ηλεκτρική όπου αποθηκέυεται με διάφορους μηχανισμούς σε ειδικές αποθήκες.

Πρόσθετα πλεονεκτήματα των CSP είναι:

- αποδεδειγμένες ικανότητες, π.χ., οι 354 MW-εγκαταστάσεις κοίλων στην Καλιφόρνια από το 1985 έχουν αποδειξει εξαιρετική απόδοση, διαθεσιμότητα, με μείωση του κόστους των επενδύσεων κατά σχεδόν 50%, καθώς και σημαντική μείωση κόστους λειτουργίας.

-Είναι αρθρωτά , και συνεπώς κατάλληλα για μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις 100 MW.

-Μπορεί να αναπτυχθούν γρήγορα χρησιμοποιώντας εξ ολοκλήρου εγχώριους πόρους και την υπάρχουσα υποδομή.

-Είναι κατάλληλα για ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

-Εχουν αποδεδειγμένο δυναμικό για περαιτέρω μείωση του κόστους, συμπεριλαμβανομένου εκείνου που προκύπτει από τις οικονομίες κλίμακας, δηλαδή από τη μαζική παραγωγή του γυαλιού, χάλυβα, κλπ.

Όσον αφορά το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και την ποιότητα της προμήθειας ενέργειας η προσαρμοστικότητα και διαθεσιμότητα τους σχετικά με τη ζήτηση ενέργειας κανει τα CSP να ξεχωρίζουν από τις άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ή τα φωτοβολταϊκά. Ακόμη και αν ο ήλιος είναι μια πηγή ενέργειας με διαλείψεις, τα CSP συστήματα προσφέρουν το πλεονέκτημα να είναι σε θέση λειτουργούν συνεχώς σε ένα προκαθορισμένο φορτίο. Τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συλλεγουν την περίσεια θερμότητας.

Το σύστημα θερμικής αποθήκευσης προμηθεύει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται από την τουρμπίνα μετά το ηλιοβασίλεμα. Η λειτουργία νύχτας εξασφαλίζεται από ορυκτά εφεδρικά καύσιμα.

Αυτή η δυνατότητα αποθήκευσης υψηλής θερμοκρασίας θερμικής ενέργειας οδηγεί σε οικονομικά ανταγωνιστικές επιλογές σχεδιασμού, δεδομένου ότι μόνο το ηλιακό μέρος πρέπει να είναι μεγάλου μεγέθους. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα οριακό κόστος για το το σύστημα αποθήκευσης και το επιπλέον ηλιακό πεδίο, ενώ το μέγεθος του συμβατικού μέρος της εγκατάστασης (μπλοκ ισχύος) παραμένει το ίδιο. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα του συστήματος αποθήκευσης είναι πάνω από 95% που είναι υψηλή. Το ειδικό επενδυτικό κόστος είναι λιγότερο από $ 10-30/kWh$_{th}$ με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος $ 25-75/kW$_{hel}$ να είναι δυνατό σήμερα.

1.2 Γενικές αρχές

Η διαδικασία της θερμικής ηλεκτροπαραγωγής πραγματοποιείται με τα παρακάτω βήματα:

- Συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ενός συστήματος συλλέκτη

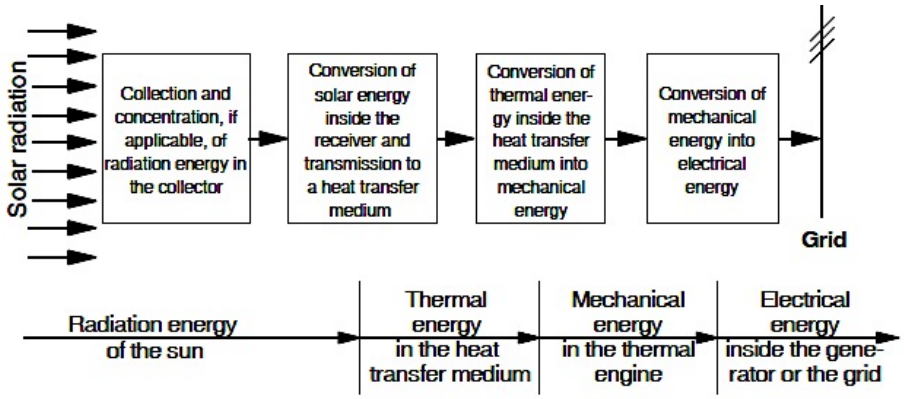
- Αύξηση της πυκνότητας ροής ακτινοβολίας (δηλαδή της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα δέκτη), αν γίνεται

- Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (δηλαδή μετατροπή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια (θερμότητα) μέσα στο δέκτη)

- Μεταφορά της θερμικής ενέργειας σε μια μονάδα μετατροπής της ενέργειας

- Μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική χρησιμοποιώντας μια θερμική μηχανή(π.χ. ατμοστρόβιλος)

- Μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τη γενική αλυσίδα της ενεργειακής μετατροπής των ηλιακών θερμικών σταθμών παραγωγής.



Σχήμα 2: Αλυσίδα μετατροπής ενέργειας της ηλιακής θερμικής ενέργειας

1.3 Συγκέντρωση ακτινοβολίας

Η συγκέντρωση ακτινοβολίας είναι απαραίτητη, αν απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες που δημιουργούνται από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας περιγράφεται από τον δείκτη συγκέντρωσης. Η έννοια αυτή ορίζεται σύμφωνα με δύο διαφορετικές μεθόδους:
- Από τη μία πλευρά, ο λόγος συγκέντρωσης C μπορεί να προσδιοριστεί αποκλειστικά γεωμετρικά (C_{geom}), που περιγράφει την αναλογία της ηλιακής επιφάνειας ανοίγματος A_{ap} στην επιφάνεια απορρόφησης A_{abs} (εξίσωση 1).

Επομένως, ο λόγος συγκέντρωσης για εναν παραβολικό κοίλο συλλέκτη με άνοιγμα πλάτους 5,8 m. και ενα σωλήνα απορρόφησης διαμέτρου 70 mm είναι περίπου 26. Όσον αφορά τους παραβολικούς κοίλους συλλέκτες, μερικές φορές ο λόγος του πλάτους ανοίγματος προς την διάμετρο του σωλήνα

απορρόφησης αναφέρεται ως λόγος συγκέντρωσης:αυτή η ποσότητα διαφέρει από το δείκτη συγκέντρωσης που ορίζεται από την εξίσωση (1) ως προς τον παράγοντα π:

$$C=C_{geom}=\frac{Aap}{Aabs} \quad (1)$$

- Από την άλλη πλευρά, ο βαθμός συγκέντρωσης C ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας ροής ακτινοβολίας στο επίπεδο διάφραγμα προς τις αντίστοιχες τιμές Gabs του απορροφητήρα (C_{flux}, Εξίσωση (2)). Ωστόσο, ο ορισμός αυτός αναφέρεται εδώ μόνο για να συμπληρώσει την εικόνα:

$$C=C_{flux}=\frac{Gap}{Gabs} \quad (2)$$

Με βάση το δεύτερο θεμελιώδες θεώρημα της θερμοδυναμικής τα μέγιστα δυνατά ποσοστά συγκέντρωσης δύο διαστάσεων (παραβολικά κοίλου τύπου) και τριών διαστάσεων (π.χ. paraboloids) συγκεντρωτών μπορεί να προκυψουν με την χρήση μιας "γωνίας αποδοχής" 2 θ_a που απαιτείται Η γωνία αυτή καλύπτει ολόκληρη τη γωνιακή κλίση του πεδίου των ηλιακών ακτινών ώστε να επικεντρωθούν στον συλλέκτη, χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθεί ο συλλέκτης ή μέρος αυτού.

Για μονου-άξονα συγκεντρωτές (όπως τα παραβολικά κοίλα)για παράδειγμα, η μέγιστη συγκέντρωση $C_{ideal,2D}$ για μια δεδομένη την αποδεκτή ημιγωνία θ_a υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (3):

$$C_{ideal,2D}=\frac{1}{sin\theta a} \quad (3)$$

Για διαξονικό συλλέκτη ο μέγιστος λόγος συγκέντρωσης $Ci_{deal,\ 3D}$ υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (4):

$$C_{ideal,3D}=\frac{1}{(sin\theta_a)^2} \quad (4)$$

Επειδή στην επιφάνεια της γης, η αποδεκτή γωνία $2\theta_a$ για τον ήλιο είναι μεταξύ 0,53 ° ή 9,3 mrad, οι μέγιστοι ιδανικοί παράγοντες συγκέντρωσης που καθορίζονται για δισδιάστατες γεωμετρίες είναι 213 (γραμμή εστιάσης παραβολικών κοίλων) και 45.300 για τριδιάστατες (σημείο εστίασης) γεωμετρίες.

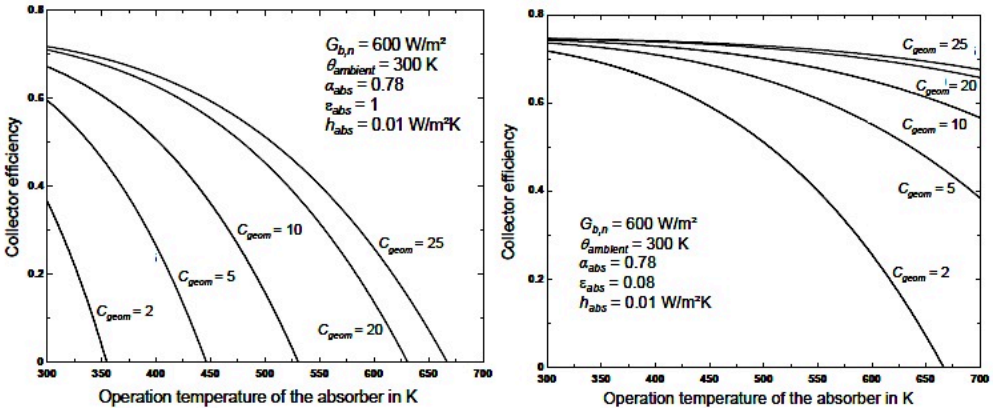
Ωστόσο, στην πράξη η γωνία αποδοχής του συμπυκνωτή πρέπει να αυξηθεί έτσι ώστε να επιτευχθεί η σημαντική μείωση της πραγματικής αναλογίας συγκέντρωσης . Αυτό οφείλεται στις ακόλουθα:

-Σφάλματα παρακολούθησης, γεωμετρικές αντανακλάσεις καθώς και ατελή προσανατολισμό της γωνίας αποδοχής του δέκτη που είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την γωνία άνοιγματος του ήλιου.

- Οι καθρέφτες που εφαρμόζονται είναι ατελείς και επεκτείνουν την ανακλώμενη δέσμη.

- Η ατμοσφαιρική σκέδαση επεκτείνει την αποτελεσματική γωνία ανοίγματος του ήλιου πέρα από την ιδανική γεωμετρική ημιγωνία αποδοχής που είναι περίπου 4,7 mrad.

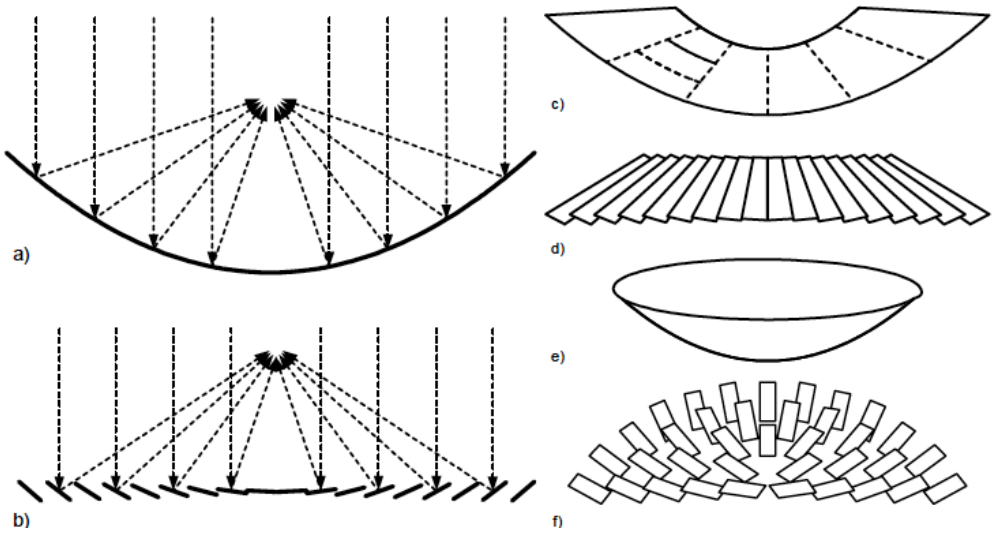
Η συγκέντρωση της ακτινοβολίας έχει στόχο την αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητήρα και, κατά συνέπεια, της εξέργειας της συμπυκνωμένης θερμότητας. Επιπλέον, οι επιφάνειες απορροφητήρα μπορεί να είναι μικρότερες λόγω της συγκεντρωμένης ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι, επομένως, ευκολότερο να μειωθούν οι αναπόφευκτες θερμικές απώλειες λόγω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς και της θερμότητας αγωγιμότητας. Στην περίπτωση της απορρόφησης των παραβολικών συλλεκτών, αυτό επιτυγχάνεται εκκενώνοντας τους σωλήνες επένδυσης και επικαλύπτοντας τον απορροφητήρα με υλικό χαμηλού συντελεστή εκπομπής στο σχετικό μήκος του.Το Σχήμα 3 δείχνει τον αντίκτυπο του βαθμού συγκέντρωσης στην απόδοση του συλλέκτη η_{Coll} σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία του απορροφητήρα θ_{abs} για δύο διαφορετικούς συντελεστές εκπομπών ε του απορροφητήρα (αριστερό ε_{abs} = 1, δεξί ε_{abs} = 0,08).



Σχήμα 3:Συσχέτιση η_{Coll} της απόδοσης του συλλέκτη και της θερμοκρασίας λειτουργίας του απορροφητήρα θ_{abs} καθώς και του γεωμετρικού C_{geom} συντελεστή συγκέντρωσης (αριστερά για έναν απορροφητήρα με ε_{abs} = 1 ('μαύρο σώμα'), αριστερά για εabs = 0,08, μια πρακτικά εφικτή τιμή.Για λόγους απλότητας ένας σταθερός συντελεστή τομής (δηλαδή η αναλογία της προσπίπτουσας με την ανακλώμενη ακτινοβολία) του 0,96 έχει θεωρηθεί.Το $G_{b,n}$ περιγράφει την άμεση ακτινοβολία,α_{abs} είναι ο συντελεστής απορρόφησης του απορροφητήρα, H_{abs}είναι ο συντελεστής θερμικής απώλειας του απορροφητήρα)

Δεδομένου ότι η άμεση συγκέντρωση με περίθλαση ή διάθλαση μπορεί να γίνει μόνο από άκαμπτο, διαφανές υλικό (π.χ. φακούς από γυαλί), που χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος, αυτή η επιλογή δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα για οικονομικούς λόγους. Οι αντανακλώμενες επιφάνειες αποδείχθηκαν πιο αποδοτικές από άποψη κόστους, δεδομένου ότι αντανακλούν την σχεδόν παράλληλη προσπίπτουσα ακτινοβολία πάνω από ένα ορισμένο

σημείο ή γραμμή. Τα προφίλ των παραβολών παρουσιάζουν αυτές τις ιδιότητες (Σχήμα 4a). Για να επιτευχθεί ο μέγιστος δυνατός βαθμός συγκέντρωσης - δηλαδή ο λόγος επιφάνειας του ανακλαστήρα στην επιφάνεια απορρόφησης να είναι πολύ υψηλός για οικονομικούς λόγους - τα προφίλ έχουν σχεδιαστεί ως στερεά περιστροφής (Σχήμα 4e)). Ως εναλλακτική λύση, το προφίλ αντανάκλασης μπορεί επίσης να εξωθηθεί , έτσι ώστε το επίκεντρο δεν θα είναι σημείο αλλά γραμμή.Οι δυνατότητες αυτές περιγράφονται στο σχήμα. 3 c.



Σχήμα 4: προφίλ παραβολλών για τη συγκέντρωση ακτινοβολίας
a) το προφίλ με παραβολή της διαδρομής των ακτίνων,
b) προφίλ παραβολής (Fresnel) με διαδρομή των ακτίνων κατά διαστήματα
c) και d) προφίλ διέλασης από τα προφίλ a) και b)
e) και f) προφίλ στερεάς περιστροφής των a) και b

Όσο πιο επίπεδη η παραβολή, τοσο πιο μακρινό είναι το κεντρικό σημείο (ή το εστιακό επίπεδο της εικόνας του ήλιου) από την κορυφή της παραβολής. Σε σύγκριση με το απότομο προφίλ της παραβολής, τα εππίπεδα παράβολα χαρακτηρίζονται από το χαμηλό ποσοστό της επιφάνειας ανακλαστήρα προς το άνοιγμα της επιφάνειας (δηλαδή της επιφάνειας συλλέκτη). Έτσι η κατανάλωση του ειδικού υλικού μειώνεται. Ως εναλλακτική λύση,τμηματικά παραβολικά προφίλ εφαρμόζονται-που αναφέρονται επίσης ως προφίλ Fresnel.Τα προφίλ της παραβολής υποδιαιρούνται σε μικρότερα τμήματα ίδιας κλίσης στο ίδιο σημείο με το προφίλ, ενώ βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Λόγω της δέσμευσης της προσπίπτουσας και της ανακλώμενης ακτινοβολίας η αποτελεσματικότητα της αντανάκλασης (δηλαδή η αναλογία της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ανοίγματος και της συμπυκνωμένης ακτινοβολίας) είναι γενικά χαμηλότερη από ό, τι για τα προφίλ παραβολής. Το Σχήμα 4d δείχνει σχηματικές παραστάσεις, όπως τα τμήματα προφίλ διέλασης προφίλ το σχήμα 4f περιέχει μια σχηματική παράσταση της περιστροφής στερεών.

Η περιστροφή των προφίλ παρουσιάζει το πλεονέκτημα των υψηλότερων συντελεστών συγκέντρωσης και ως εκ τούτου υψηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας. Ωστόσο, οι συγκεντρωτές δύο αξόνων παρακολούθησης του ηλίου απαιτούν μεγαλύτερες τεχνικές προσπάθειες.Τα συστήματα γραμμικής

εστίασης που απαιτούν μόνο ένα άξονα παρακολούθησης οδηγούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και αποδόσεις λειτουργίας .

Επίσης, τα συγκροτήματα είναι εξοπλισμένα με περιστροφικά παραβολικά συστήματα που αναφέρονται ως δίσκοι-μηχανές ή παραβολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις με τμήματα συστημάτων περιστροφής όπως οι πύργοι ηλιακής ενέργειας (λόγω της εστιασης που γίνεται σε πύργο). Στην περίπτωση της γραμμικής εστίασης μονάδων διέλασης εξοπλισμένων με παραβολικά συστήματα είναι οι κυλινδροπαραβολικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ή οι γραμμικοί σταθμοί συλλέκτη Fresnel

Πέρα από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού που εφαρμόζεται για τον ανακλαστήρα, η βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε μεγάλο βαθμό επηρεάζεται από τη γεωμετρία των ανακλαστήρων και την ακρίβεια του συστήματος παρακολούθησης του ηλίου. Στην πράξη, χρησιμοποιούνται κυρίως οπτικές μεθόδοι μέτρησης για την αξιολόγηση της ποιότητας συγκεντρωτή και την απόδοσης.

Τυπικοί παράγοντες συγκέντρωσης και παράμετροι των ηλιακών τεχνολογιών που εφαρμόζονται στους συλλέκτες συγκέντρωσης συνοψίζονται στον πίνακα 1.
Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση, έχουν προστεθεί και τα τεχνικά στοιχεία των μη-συγκεντρωτικών ηλιακών θερμικών συστημάτων.

Πίνακας 1: Συγκέντρωτικοί παράγοντες και τεχνικές παράμετροι των επιλεγμένων τεχνολογιών παραγωγής ηλιακής θερμικής ενέργειας

	Solar tower	Dish/Stirling	Parabolic trough	Fresnel reflector	Solar pond	Solar up-draft tower
Typical capacity in MW	30 – 200	0.01 – 1[a]	10 – 200[c]	10 – 200[c]	0.2 – 5	30 – 200[c]
Real capacity in MW	10	0.025	80	0.3[d]	5	0.05
Concentration factor	600 – 1,000	up to 3,000	50 – 90	25 – 50	1	1
Efficiency[b] in %	10 – 28	15 – 25	10 – 23	9 – 17[d]	1	0.7 – 1.2
Operation mode	grid	grid/island	grid	grid	grid	grid
Development status[e]	+	+	++	0	+	+

[a] by interconnection of many individual plants within a farm; [b] conversion of radiation energy into electrical energy, annual average is site-specific; [c] assuming a solar multiple of 1.0; [d] incorporated into a conventional power station; [e] 0 successful operation of demonstration plants, + successful continuous operation of demonstration plants, ++ commercial plants in operation.

1.5 Απορρόφηση ακτινοβολίας

Όλα τα υλικά απορροφούν μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία απορροφάται και προκαλεί τα άτομα του υλικού να δονούνται και έτσι παράγουν θερμότητα.
Αυτή η θερμότητα, είτε μεταφέραται στο απορροφητικό υλικό με θερμική αγωγιμότητα και απελευθερώνεται σε θερμική ακτινοβολία ή συναγεται πίσω στην ατμόσφαιρα.

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελείται από το ορατό φως Δηλαδή το μέρος της ακτινοβολίας με τα βραχέα κύματα είναι κυρίαρχο .Η κατανομή της φωτεινότητας των διαφορετικών μηκών κύματος αντιστοιχεί περίπου σε εκείνο του μέλανος σώματος με θερμοκρασία περίπου 5.700 K. Σε αντίθεση, όσον αφορά τις θερμοκρασίες που σχετίζονται με ηλιακές θερμικές μονάδες (περίπου 100 έως 1.000 ° C) τα όργανα εκπέμπουν κυρίως μεσαίου και μικρού κύματος ακτινοβολία (Νόμος του Wien).
Όταν παρατηρούμε μόνο μια μικρή περιοχή του φάσματος, οι συντελεστές απορρόφησης και της εκπομπής είναι πανομοιότυποι (νόμος του Kirchhoff). Ωστόσο, κατάλληλες "επιλεκτικές" επιστρώσεις εξασφαλίζουν ότι τα βραχέα κύματα φωτός του ήλιου απορροφούνται καλά, ενώ η (μεγάλου μήκους κύματος) ακτινοβολία θερμότητας αναστέλεται.Τέτοια υλικά χαρακτηρίζονται απο υψηλούς συντελεστές απορόφησης σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία και από χαμηλούς συντελεστές εκπομπής ε_{abs} σε σχέση με την μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία της θερμότητας

1.5 Αποθήκευση θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια πηγή ενέργειας της οποίας η ένταση ποικίλλει λόγω της περιστροφής της γης (ημέρα/νύχτα) και των πραγματικών μετεωρολογικών επιρροών (σύννεφα, αερολύματα, κλπ.). Για την αντιστάθμιση αυτών των διακυμάνσεων χρησιμοποιούνται συστήματα θερμικής αποθή-κευσης.Τα μέσα αποθήκευσης διακρίνονται:
- Σε περίπτωση αποθήκευσης του μέσου μεταφοράς θερμότητας, αποθηκεύεται ενδιάμεσα σε θερμομονωτικά δοχεία. Αυτό σημαίνει ότι το μέσο μεταφοράς της θερμότητας είναι ανέξοδα διαθέσιμο και έχει μεγάλο όγκο-ειδική θερμότητα για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Μέχρι σήμερα δοχεία με θερμικό ελαιο και λιωμένο αλάτι έχουν εφαρμοστεί ,ωστόσο έχουν προγραμματιστεί συσσωρευτές νερού/ατμού.
Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου αποθήκευσης είναι η σταθερή θερμοκρασία του θερμού μέσου μεταφοράς, η οποία μειώνεται μόνο από τις απώλειες θερμότητας της δεξαμενής αποθήκευσης (και έτσι είναι συνάρτηση της περιόδου αποθεματοποίησης, της επιφάνειας των εμπορευματοκιβωτίων και της μόνωσης).
- Σε περίπτωση μαζικής αποθήκευσης, το μέσο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιεί ένα δεύτερο θερμικο υλικό υψηλής θερμοχωρητικότητας. Για το σκοπό αυτό μια καλή μεταφορά της θερμότητας (δηλαδή μεγάλες επιφάνειες και υψηλοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας) πρέπει να παρέχεται μεταξύ του θερμικού μέσου μεταφοράς και του υλικού αποθήκευσης, για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη θερμοκρασιακή διαφορά οδήγησης και να μειωθεί η επακόλουθη απώλεια εξέργειας ης θερμότητας.
Οι μαζικές αποθήκες εφαρμόζονται εάν το μέσο μεταφοράς της θερμότητας είναι πάρα πολύ ακριβό (Π.χ. συνθετικό λάδι μεταφοράς θερμότητας) ή είναι δύσκολο να αποθηκευτεί (π.χ. αέρας υποπίεσης).Για μάζικές αποθήκες εφαρμόζονται οι ακόλουθοι συνδυασμοί:
-Θερμικο έλαιο/σκυρόδεμα,
-θερμικό έλαιο/λιωμένο αλάτι
-ατμός/λάδι-άμμος και
-αέρας/κεραμικά τούβλα.

Αυτα τα συστήματα έχουν το πλεονέκτημα του πολύ χαμηλού κόστους υλικού αποθήκευσης. Ωστόσο, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι εκτός από την κοινή απώλεια θερμότητας από την δεξαμενή αποθήκευσης μια απώλεια εξέργειας συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διπλής μεταφοράς θερμότητας. κατά τη φόρτιση και αποφόρτιση το υλικού αποθήκευσης.

- Μέσα σε δεξαμενές αποθήκευσης με υλικό αλλαγής φάσης, όπου ατμός συμπυκνώνεται ισόθερμα , έτσι ώστε ένα υλικό αποθήκευσης (π.χ. άλατα, όπως NaCl, NaNO3, KOH)να είναι στερεοποιημένο/ισόθερμα λιωμένο. Και στην περίπτωση αυτή μία απώλεια εξέργειας συμβαίνει λόγω διπλής μετάδοσης της θερμότητας. Επιπλέον μια τέτοια αλλαγή φάσης υλικών εξακολουθεί να είναι πολύ ακριβή.

Ο πίνακας 2 δείχνει τα θερμοδυναμικά δεδομένα των επιλεγμένων μέσων αποθήκευσης. Μια χαρακτηριστική παράμετρος είναι ο συντελεστής θερμικής διείσδυσης a_{th}. Σύμφωνα με την εξίσωση(5) το a_{th} ορίζεται ως η ρίζα του γινομένου της θερμικής αγωγιμότητας λ, της πυκνότητα ρ_{SM} του μέσου αποθήκευσης και της ειδικής θερμοχωρητικότητας c_p:

$$a_{th}=\sqrt{\lambda \cdot \rho_{sm} \cdot c_p} \quad (5)$$

Πίνακας 2: Παράμετροι από διαφορετικά υλικά αποθήκευσης (πρότυπες τιμές)

	Maximum temperature in °C	Thermal conductivity in W/(m K)	Density in kg/m³	Specific heat capacity in J/(kg K)	Thermal penetration coefficient in $Ws^{1/2}/Km^2$
Silicone oil	400	0.1	970[a]	2,100	450
Mineral oil	300	0.12	900[a]	2,600	530
Molten sodium chloride	450	0.57	927[b]	1,500	890
Insulating bricks	700	0.9[c]	Approx. 1,000[d]	950	925
Reinf. concrete	400	1.5	2,500	850	1785
Construction steel	700	40	7,900	430	11,700

Spec. Specific; Reinf. Reinforced; Approx. approximately; [a] at 20 °C; [b] at melting point; [c] 0.18 to 1.6 W/(mK); [d] between approximately 800 to 1,200 kg/m³.

1.6 Τεχνολογιες θερμικων ηλιακων σταθμων

Οι θερμικες ηλιακές μονάδες με τεχνολογίες οπτικής συγκέντρωσης είναι σημαντικές υποψηφίες για την μαζικη παραγωγή του ηλιακού ηλεκτρικού ρεύματος που χρειάζεται μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Τέσσερις τεχνολογίες συγκέντρωσης της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα χρησιμοποιούνται σε πιλοτικό και επίπεδο επίδειξης:

- Τα παραβολικα κοίλα(Parabolic Trough Collector (PTC))
- Οι ηλιακοι πυργοι ισχυος(Central Receiver Systems(CRS))
- Τα συστήματα δίσκου (Dish Engine (DE))

- Ο συλεκτης Fresnel(Linear Fresnel (LF))

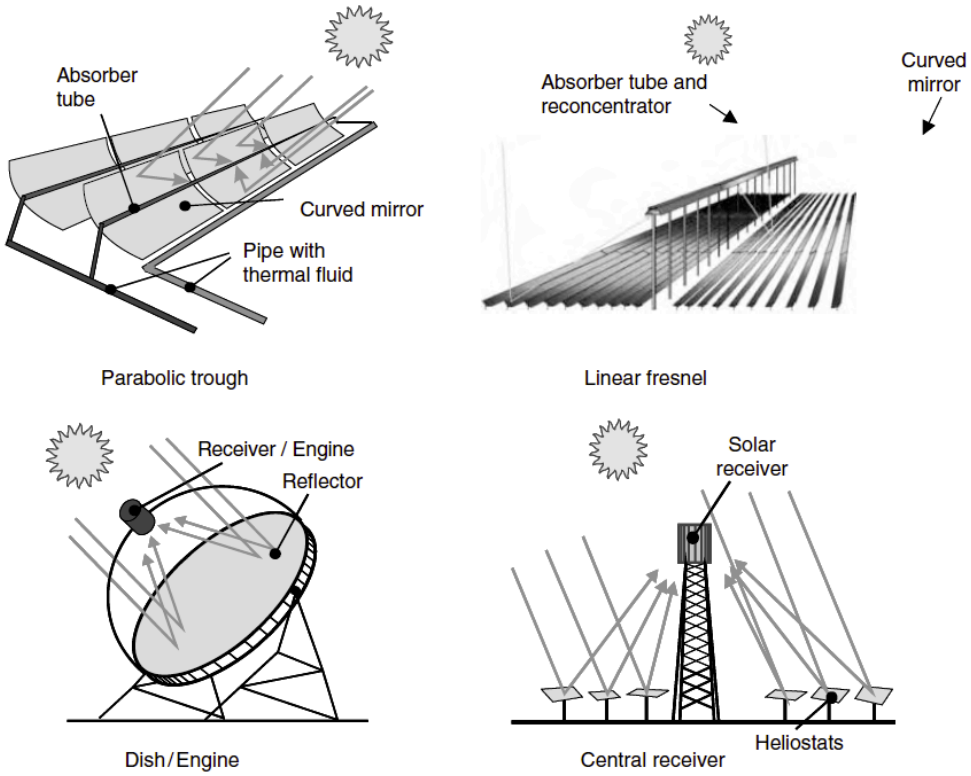
Όλες οι υπάρχουσες πιλοτικές εγκαταστάσεις μιμούνται παραβολικές γεωμετρίες με μεγάλες περιοχές κατοπτρου και δουλεύουν κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.Οι ανακλαστικοί συγκεντρωτες επιλέγονται συνήθως αφού έχουν τις καλύτερες προοπτικές για την ανάπτυξη

Τα παραβολικά κοίλα και τα συστηματα Fresnel είναι δυσδιαστατα συστήματα συγκέντρωσης στα οποία η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε μια εστιακή γραμμή από ένα μονοαξονικο κατοπτρο. Είναι σε θέση να συγκεντρώνουν την ηλιακή ροή ακτινοβολίας 30-80 φορές και να θερμαίνουν το θερμικό υγρό έως 393°C.Οι μονάδες μετατροπής της ενέργειας ειναι γεννητριες που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine με ισχύ 30-80W.

Τα συστήματα πύργου είναι πιο περίπλοκα, δεδομένου ότι ο ηλιακός δέκτης που είναι τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου συγκεντρώνει το ηλιακό φως μέσω ενός μεγάλου παραβολοειδούς που διακριτοποιείται σε ένα πεδίο από ηλιοστάτες. Αυτός ο τρισδιάστατος συγκεντρωτής έχει άξονα ανεξάρτητου βαθμού ελευθερίας και απαιτεί ηλιοστάτες δύσδιάστατης παρακολούθησης. Οι συντελεστές συγκέντρωσης είναι μεταξύ 200 και 1000 και τα μεγέθη της μονάδας είναι μεταξύ 10 και 200 MW. Ως εκ τούτου είναι κατάλληλοι για τις αγορές και την ενσωμάτωση στους προηγμένους θερμοδυναμικούς κύκλους. Μια μεγάλη ποικιλία των θερμικών ρευστών, όπως ο κορεσμένος ατμός, ο υπέρθερμος ατμός, τα τετηγμένα άλατα , ο ατμοσφαιρικός αέρας ή ο πεπιεσμένος αέρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενώ οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 300°C και 1000°C.

Τέλος, τα συστήματα δίσκου-μηχανής είναι μικρές αρθρωτές μονάδες με αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μηχανές Stirling ή Brayton που είναι στο επίκεντρο τους.Τα συστήματα αυτά είναι παραβολικοί τρισδιάστατοι συγκεντρωτές με υψηλές αναλογίες συγκέντρωσης (1000-4000) και μεγέθη μονάδων 5-25 kW.Χρησιμοποιουνται ως συνδεδεμενα συστηματα στο κεντρικό δίκτυο ή ως ανεξάρτητα συστηματα για παραγωγη ενεργειας.

Οι τιμές για τα παραβολικά κοίλα, την μακράν πιο ώριμη τεχνολογία, έχουν αποδειχθεί εμπορικά. Εκείνες οι αντίστοιχες τιμές για τα γραμμικα συστήματα Fresnel, τα συστήματα δίσκου μηχανης, και του πύργου είναι, σε γενικές γραμμές, προβλέψεις που βασίζονται σε μεγάλης κλίμακας δεδομενα πιλοτικών δοκιμών μετά από ώριμη ανάπτυξη των τρεχουσών τεχνολογιών.



Εικόνα :Τέσσερις τεχνολογίες ηλιακών συγκεντρωτών.

Με τις σημερινές επενδυτικές δαπανες, όλες οι τρέχουσες τεχνολογίες CSP γενικά πιστεύεται ότι απαιτούν μια δημόσια οικονομική στρατηγική στήριξης για την ανάπτυξη της αγοράς. Μια ανεξάρτητη μελέτη που εγινε από την Παγκόσμια Τράπεζα , επιβεβαιώνει τα CSP ως την πιο οικονομική τεχνολογία για την ηλιακή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο η ανάλυση της βρίσκει το άμεσο κόστος του κεφαλαίου των CSP να είναι 2.5 - 3.5 φορές από απο το αντίστοιχο κοστος των συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και, ως εκ τούτου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοστιζει 2-4 φορές υψηλότερα.

Κάθε τετραγωνικό μέτρο του πεδίου CSP μπορεί να παράγει έως 1200 kWh θερμικής ενέργειας ετησίως ή 500 kWh ηλεκτρική ενέργεια ετησίως. Αυτό σημαίνει μια σωρευτική εξοικονόμηση έως και 12 tn. διοξειδίου του άνθρακα και 2,5 tn. ορυκτών καυσίμων ανά τετραγωνικό μέτρο του CSP, για το 25 χρόνια της ζωής του .Παρά τις υποσχόμενες εφαρμογές και το περιβαλλοντικό όφελος, μέχρι σήμερα μόνο τα παραβολικά κοίλα έχουν λειτουργήσει εμπορικά (σε εννέα εγκαταστάσεις Solar Energy Generating Systems (SEGS) ύψους 354 MW, που χτίστηκαν από την εταιρία LUZ στην Καλιφόρνια στη δεκαετία του 1980 και 1990).

Η υψηλή αρχική επένδυση που απαιτήθηκε από τις αρχικές εμπορικές εγκαταστάσεις ($ 3000 - $ 4000/kW) σε συνδυασμό με την έλλειψη των κατάλληλων συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τις φορολογικές πολιτικές, είχαν οδηγήσει σε έναν φαύλο κύκλο , που η πρώτη γενιά των

εμπορικών διασυνδεδεμένων μονάδων ήταν δύσκολο να υλοποιηθεί χωρίς κίνητρα στην αγορά.

Μετά από δύο δεκαετίες προγραμάτων που απέτυχαν,οι εγκρίσεις των τελευταίων ετών για τα οικονομικα κεφάλαια στην Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστραλία, και αλλού, άνοιξαν το δρόμο για την την έναρξη των πρώτων εμπορικών επιχειρήσεων

Τα παραβολικά κοίλα θεωρούνται σήμερα μια ώριμη τεχνολογία, έτοιμη για εγκατάσταση.Τα αρχικά κόστη αναμένεται να είναι της τάξης των $ 0.15-0.18/kWh (και μέχρι 30% λιγότερο στα υβριδικά συστήματα), και οι τεχνολογικοί και οικονομικοί κίνδυνοι αναμένεται να είναι χαμηλοί. Τα τελευταία χρόνια, οι πέντε εγκαταστάσεις στο Kramer Junction (SEGS III-VII), έχουν επιτύχει μείωση κατά 30% στα κόστη λειτουργείας και συντήρησης, ένα ετήσιο ρεκόρ απόδοσης του 14% και μια καθημερινή απόδοση μετροπής απο ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια κοντά στο 20%, καθώς και μέγιστες αποδόσεις έως 21,5%.

Η ετήσια διαθεσιμότητα εγκατάστασης υπερβαίνει το 98% και διαθεσιμότητα του συλλέκτη είναι πάνω από 99% . Ενόψει αυτού του προχωρημένου σταδίου της ανάπτυξης, είναι πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που επιδιώκουν ευκαιρίες για τη δημιουργία εγκαταστάσεων παρομοίων με τις εγκαταστάσεις SEGS της Καλιφόρνιας χρησιμοποιώντας τις υφιστάμενες τεχνολογίες, με διάφορες επιλογές υβριδισμού, συμπεριλαμβανομένων των ολοκληρωμένων ηλιακών συστημάτων συνδυασμένου κύκλου (Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS)).

Τα LF συστήματα ανακλαστήρων είναι απλα, χρησιμοποιούν ανέξοδα, συμπαγή οπτικά, που μπορεί να παράγει κορεσμένο ατμό σε 150-360°C με ταυτόχρονη χρήση της γης κάτω από το 1 Ha/MW. Επομένως, μια τεχνολογία CSP είναι η καταληλότερη για την ενσωμάτωση στους λέβητες ανάκτησης του συνδυασμένου κύκλου , την αντικατασταση του ατμού που αποβάλεται στους θερμοδυναμικούς κύκλους Rankine ή για τους κορεσμένους ατμοστρόβιλους.

Η πιο εκτεταμένη εμπειρία ήταν η χρησιμοποιηση πολλαπλων πύργων από πλάκες καθρέφτη από το Πανεπιστήμιο του Sydney στην Αυστραλία .Παρά την απλότητά τους,τα LF συστήματα στερούνται εμπειρίας για την τελική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ελπίζουμε η κατάσταση να αλλάξει , δεδομένου ότι ένα πρώτο εμπορικό έργο ισχυος 36MW ξεκίνησε στην Αυστραλία το 2003 από την Solar Heat & Power Company.Αυτο το εργο (που ναι μια απόδειξη της τεχνολογιας) βρίσκεται σε μια υπάρχουσα μονάδα μονάδα παραγωγής ενέργειας με καύση του άνθρακα , με έκταση 132.500 m^2 . Η LF εγκατάσταση παρέχει 270 °C προθερμασμένη θερμική ενέργεια για να αντικαταστήσει τον ατμό που αποβάλεται απο τον κύκλο Rankine.

Η τεχνολογια του πύργου ισχύος , μετά από ένα στάδιο για απόδειξη της ιδέας, είναι σήμερα στα πρόθυρα της εμπορευματοποίησης, αν και λιγότερο ώριμη από τεχνολογία των παραβολικών κοίλων. Περισότεροι από 10 διαφορετικοι πειραματικοι πυργοι έχουν δοκιμαστεί σε όλο τον κόσμο , μικρά συστήματα επίδειξης μεταξύ 0,5 και 10 MW ,οι περισσότεροι από τους οποίους λειτουργούσαν στη δεκαετία του 1980 .Αυτή η εμπειρία κατέδειξε την τεχνική

εφικτότητα των πύργων ισχύος , και την ικανότητα λειτουργίας τους με συστήματα αποθήκευσης θερμότητας μεγάλης χωρητικότητας. Η πιο εκτεταμένη πειραματική λειτουργία τους υπήρξε στα ευρωπαϊκά πιλοτικά σχέδια στην Ισπανία στις εγκαταστάσεις της Plataforma Solar de Almeri'a (PSA), και στις Ηνωμένες Πολιτείες στις 10-MW Solar One και Solar Two εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην Καλιφόρνια.

Η συνεχής τεχνολογική βελτίωση, τοποθετεί πλέον τις τρέχουσες προβλέψεις για την αποτελεσματικότητα των πύργων ισχύος στο επίπεδο του 23% και ετήσια στο 20%, αλλά μια πρώτη γενιά εμπορικών μονάδων επίδειξης παραμένει ένα ουσιαστικό προαπαιτούμενο για την επικύρωση της τεχνολογίας κάτω από πραγματικές λειτουργίας και οι συνθήκες της αγοράς. Οι τρεις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες του πύργου ισχύος που αναμένεται να οδηγήσει σε εμπορικές εγκαταστάσεις κατά τα επόμενα χρόνια είναι: τεχνολογία λιωμένου αλατιού , οι ανοιχτού ή κλειστού κύκλωματος ογκομετρικές τεχνολογίες αέρα και η τεχνολογία κορεσμένου ατμού.

Τα συστήματα δίσκου/μηχανης είναι ιδανικά για μεγέθη μεταξύ 5 και 25 kW. Δύο δεκαετίες πριν, οι δίσκοι-Stirling απέδειξαν ήδη την υψηλή αποδοτικότητα της μετατροπής τους, τη συγκέντρωση πάνω από 3000 ήλιους, και την θερμοκρασία λειτουργίας τους σε 750°C με ετήσια απόδοση 23% και 29% κατά την αιχμή.

Δυστυχώς, τα συστήματα δεν έχουν ξεπεράσει ακόμη το στάδιο της απόδειξης της αξιοπιστίας τους. Μόνο ένας περιορισμένος αριθμός των πρωτοτύπων έχουν δοκιμαστεί σε όλο τον κόσμο, και η ετήσια διαθεσιμότητα πάνω από 90% εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση. Δεδομένου ότι η αυτόνομη λειτουργία και για εκτός δικτύου αγορές είναι οι πρώτες προτεραιότητες της εν λόγω τεχνολογίας, πρέπει να συγκεντρωθούν αναφορές πιο μεγάλης αντοχής.

Οι δαπάνες επενδυσης στην τεχνολογία των δίσκων/μηχανων ,οι οποίες είναι διπλάσιες από εκείνες των παραβολικών κοίλων , θα πρέπει να μειωθούν δραματικά κυρίως όσον αφορά την μαζική παραγωγή συγκεκριμένων εξαρτημάτων, όπως είναι ο κινητήρας και το συμπυκνωτής. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα, λόγω της αρθρωτής φύσης τους, απευθύνονται προς την κατεύθυνση αγορων μεγάλης αξίας Οι βιομηχανίες των δίσκων/μηχανών ουσιαστικά περιορίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη.

Σχημα:Ηλιακος Πύργος Ισχύος

Εικόνα:Παραβολικό Συγκεντρωτικό Σύστημα

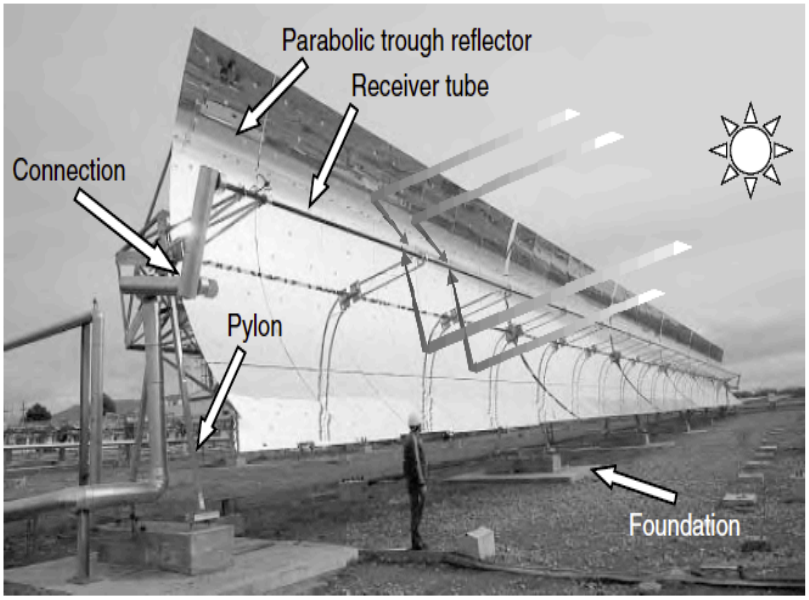
2.Συστήματα παραβολικών κοίλων(PTC)

2.1 Αρχες λειτουργιας και εξαρτήματα των PTC συστηματων

Τα PTC συστήματα ειναι γραμικές συγκεντρωτικές συσκευές κατάλληλες για λειτουργία σε θερμοκρασίες150-400°C.Ενα PTC σύστημα αποτελείται από ενα παραβολικό κοίλο κάτοπτρο που ανακλά την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και την συγκεντρώνει σε ενα δέκτη σωληνοειδή που βρίσκεται στην εστιακή γραμμη της παραβολής Η συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μειώνει την επιφάνεια απορρόφησης σε σχέση με την περιοχή παραθύρου του συλλέκτη και συνεπώς μειώνει σημαντικά τις συνολικές θερμικές απώλειες.Η συμπυκνωμένη ακτινοβολία θερμαίνει το υγρό που κυκλοφορεί μέσω του σωληνωειδους δέκτη, μετατρέποντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια με τη μορφή αισθητής θερμότητας του ρευστού. Το σχήμα 5 δείχνει ενα τυπικό PTC και τα εξαρτηματά του

Τα PTC είναι δυναμικά συστήματα, επειδή πρέπει να περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα, το λεγόμενο άξονα παρακολούθησης, για να ακολουθήσουν την ημερήσια κίνηση του ήλιου.Η περιστροφη του συλλέκτη γύρω από τον άξονά του, απαιτεί μια μονάδα δίσκου. Μια μονάδα δίσκου είναι συνήθως αρκετή για αρκετά παραβολικά μοντέλα συνδεδεμένα σε σειρά τα οποία οδηγούνται μαζί σε ένα συλλέκτη. Ο τύπος της μονάδας του δίσκου εξαρτάται από το μέγεθος και τις διαστάσεις του συλλέκτη. Οι μονάδες δίσκου αποτελούνται από έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν συνδυασμό κιβωτίων που χρησιμοποιείται για μικρούς συλλέκτες (επιφάνεια του ανοίγματος μικρότερη από 100 m^2), ενώ ισχυρά υδραυλικά χειριστήρια απαιτούνται για να περιστραφουν οι μεγάλοι

συλλέκτες. Μια μονάδα δίσκου που διατίθενται στον κεντρικό πυλώνα καθοδηγείται από μια τοπική μονάδα ελέγχου, ώστε να παρακολουθείται ο ήλιος.



Σχήμα 5:Τυπικός συγκεντρωτής παραβολικού κοίλου

Οι τοπικές μονάδες ελέγχου που διατίθενται σήμερα στην αγορά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες:

(1) μονάδες ελέγχου που βασίζονται σε αισθητήρες ήλιου και

(2) μονάδες ελέγχου που βασίζονται σε αστρονομικούς αλγόριθμους.

Οι μονάδες ελέγχου στην ομάδα 1 χρησιμοποιούν φωτοκύτταρα για την ανίχνευση της θέσης του ήλιου, ενώ εκείνοι στην ομάδα 2 υπολογίζουν το διάνυσμα του ηλίου χρησιμοποιώντας πολύ ακριβείς μαθηματικούς αλγορί-θμους που βρίσκουν το υψόμετρο και το αζιμούθιο κάθε δευτερόλεπτο και μετρούν την γωνιακή θέση του άξονα περιστροφής με τη βοήθεια ηλεκτρονικών συσκευών (κωδικοποιητές γωνίας ή μαγνητικές ταινίες κωδικοποιημένες που συνδέονται με τον άξονα περιστροφής).

Τα τράκερ τύπου σκιας(shadow band) και τα τύπου γραμμής ροής είναι στην ομάδα 1. Τα τράκερ σκιας τοποθετηθούν τον παραβολικό συγκεντρωτή να κοιτάζει τον ήλιο, όταν ο συλλέκτης είναι σε κίνηση (δηλαδή,το ηλιακό διάνυσμα ειναι μέσα σε ένα επιπεδο που περιλαμβάνει το σωληνωειδή δέκτη και είναι κάθετο προς το επίπεδο του διαφράγματος-συμπυκνωτή). Δύο φωτοαισθητήρια , ένα σε κάθε πλευρά του τοιχώματος της σκιάς, ανιχνεύει τη θέση του ήλιου. Όταν ο συλλέκτης είναι σωστά τοποθετημένος,ο τοίχος της σκιάς επισκιάζει εξίσου και τους δύο αισθητήρες, και τα ηλεκτικά τους σήματα είναι πανομοιότυπα.

Τα τράκερ ροής γραμμής τοποθετούνται στο σωληνωειδή δέκτη .Δύο αισθητήρες τοποθετούνται, επίσης, και στις δύο πλευρές του σωλήνα απορρόφησης για την ανίχνευση της συγκεντωτικής ροής που φθάνει το σωλήνα. Ο συλλέκτης είναι σωστά τοποθετημένος , όταν και οι δύο αισθητήρες είναι εξίσου φωτίσμένοι κα τα ηλεκτρικά σήματα τους είναι του ίδιου μεγέθους.

Προς το παρόν, όλα τα εμπορικά PTC χρησιμοποιούν μονοαξονικά ηλιακά σύστηματα παρακολούθησης. Αν και τα PTC με διαξονικά συστήματα παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και δοκιμαστεί στο παρελθόν, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι λιγότερα αποδοτικά. Αν και η ύπαρξη διαξονικού συστήματος εντοπισμού επιτρέπει στο PTC να παρακολουθεί μόνιμα τον ήλιο με μια γωνία πρόσπτωσης ίση με 0° (μειώνοντας έτσι τις οπτικές απώλειες και αυξάνοντας την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας στο διάφραγμα του PTC) το μήκος των παθητικών σωληνώσεων(δηλαδή, οι σωλήνες σύνδεσης μεταξύ του σωληνοειδούς δέκτη και των παραβολικών κοίλων στον ίδιο συλλέκτη) και οι σχετικές θερμικές απώλειες είναι σημαντικά υψηλότερες από ό, τι του μονοαξονικού συλέκτη. Επιπλέον, το κόστος συντήρησής τους είναι υψηλότερο και η διαθεσιμότητά τους χαμηλότερη επειδή απαιτούν έναν πιο σύνθετο μηχανικό σχεδίασης.

Ως ρευστό λειτουργίας σε αυτούς τους συλλέκτες χρησιμοποιούνται συνήθως θερμικά έλαια για θερμοκρασίες πάνω από 200°, επειδή σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, το κανονικό νερό θα παρουσίαζε υψηλή πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα και τις σωληνώσεις του δέκτη. Αυτή η υψηλή πίεση θα απαιτούσε ισχυρότερες αρθρώσεις και σωληνώσεις και επομένως αυξημένη τιμή των συλλεκτών και ολόκληρου του ηλιακού πεδίου.

Ωστόσο, η χρήση αφαλατωμένου νερού για υψηλή θερμοκρασία/πίεση βρίσκεται υπό έρευνα στο PSA και τα συστήματα άμεσης παραγωγής ατμού (Direct Steam Generation (DSG)) στους 100 bar/400 °C μέσα στους σωλήνες του δέκτη PTC έχουν ήδη αποδειχθεί σε πειραματικό στάδιο. Για θερμοκρασίες κάτω των 200 °C ένα μείγμα νερού/γλυκόλης,αιθυλενίου ή πεπιεσμένου νερού σε υγρή μορφή(liquid phase) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό επεξεργασίας γιατί η πίεση που απαιτείται στην υγρή φάση είναι μέτρια.

Όταν επιλέγεται ένα θερμικό έλαιο ως ρευστό λειτουργίας ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την σταθερότητα είναι η μέγιστη θερμοκρασία μάζας ελαίου. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία καταστρέφεται το λάδι.

Το λάδι που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα PTC για θερμοκρασίες έως 395°C είναι το VP-1, το οποίο είναι ένα ευτηκτικό μείγμα από 73,5% οξείδιο διφαινυλαιθέρα και 26,5% διφαινυλαιθέρα. Το κύριο πρόβλημα με αυτο το λάδι είναι η υψηλή θερμοκρασία στερεοποίησης του(12 °C) που απαιτεί ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης όταν οι γραμμές του λαδιού διατρέχουν τον κίνδυνο της ψύξης κάτω από αυτή την θερμοκρασία. Επειδή η θερμοκρασία βρασμού στα 1013 mbar είναι 257°C, το κύκλωμα του λαδιού πρέπει να είναι υπό πίεση με άζωτο, αργόν, ή κάποιο άλλο αδρανές αέριο, όταν το λάδι θερμαίνεται πάνω από αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες.Το να καλύψουμε το σύνολο του κυκλώματος του λαδιού με ένα αέριο χωρίς οξυγόνο είναι απαραίτητο για την λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες γιατί η υψηλή πίεση σταγονιδίων μπορεί να σχηματίσει ένα εκρηκτικό μείγμα με τον αέρα. Αν και

υπάρχουν και άλλα κατάλληλα θερμικά έλαια για ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας με χαμηλότερες θερμοκρασίες στερεοποίησης, είναι πολύ ακριβά για μεγάλες ηλιακές εγκαταστάσεις

Ο τυπικός δέκτης PTC αποτελείται από έναν εσωτερικό σωλήνα χάλυβα που περιβάλλεται από ένα γυάλινο σωλήνα για μείωση των απωλειών θερμότητας από το θερμό σωλήνα χάλυβα. Ο σωλήνας χάλυβα έχει επιλεκτική υψηλή απορροφητικότητα (μεγαλύτερη από ό, τι 90%), χαμηλή εκπομπή (λιγότερο από 30% στο υπέρυθρο) και επίστρωση που μειώνει τις θερμικές απώλειες ακτινοβολίας.

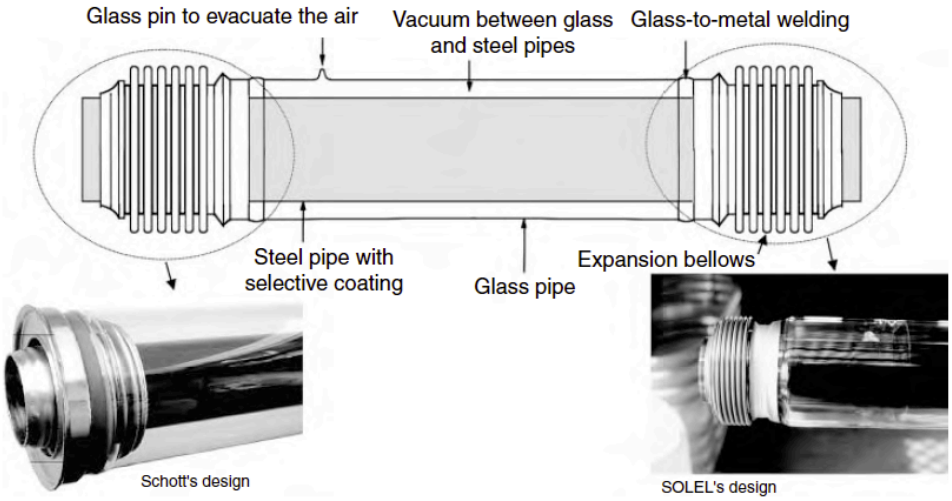
Οι σωληνοειδεις δέκτες με γυάλινους σωλήνες κενού και σωλήνες με αντιανακλαστική επίστρωση επιτυγχάνουν υψηλότερα θερμικα αποτελέσματα και καλύτερη ετήσια απόδοση, ειδικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας.

Οι σωληνοειδης δέκτες χωρις κενό ειναι κατάλληλοι για θερμοκρασίες κάτω απο 250°C επειδή οι θερμικές απώλειες δεν είναι τόσο κρίσιμες σε αυτές οι θερμοκρασίες. Λόγω των περιορισμών παραγωγής, το μέγιστο μήκος των σωλήνων του μονού δέκτη είναι λιγότερο των 6 μέτρων, έτσι ώστε ο πλήρης σωλήνας του δέκτη PTC να αποτελείται από έναν αριθμό μονών σωλήνων συνδεμένων σε σειρα κατά το μήκος του PTC. Το συνολικό μήκος του PTC είναι συνήθως 25-150 m.

Το σχήμα 6 δείχνει έναν τυπικό κενό σωλήνα του δέκτη PTC. Ο εξωτερικός γυάλινος σωλήνας είναι συνδεμένος με το σωλήνα από χάλυβα μέσω μεταλλικών ευέλικτων αρμών σύνδεσης που αντισταθμίζουν την διαφορετική θερμική επέκταση από γυαλί και ατσάλι, όταν ο σωληνοειδής δέκτης λειτουργεί στην ονομαστική θερμοκρασία.

Επί του παρόντος υπάρχουν μόνο δύο κατασκευαστές των κενών σωλήνων απορρόφησης PTC: η γερμανική εταιρία Schott και το Ισραήλινή SOLEL .Ο ευέλικτος σύνδεσμος διαστολής που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές αυτών των δύο φαίνεται στο Σχήμα 6.

Το συγκολητικο από γυαλι και μέταλλο που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του σωλήνα γυαλιού και την από κοινού επέκταση είναι ένα αδύναμο σημείο στο σωλήνα και ο δέκτης πρέπει να προστατεύεται από την συμπυκνωμένη ηλιακή ακτινοβολία για να αποφευχθεί η υψηλή θερμική και μηχανική καταπονηση που θα μπορούσαν να βλάψουν τη συγκόλληση. Μια ασπίδα αλουμινίου τοποθετείται συνήθως πάνω από την άρθρωση για την προστασία των συγκολλήσεων.



Σχήμα 6:Τυπικός σωληνοειδής δέκτης PTC

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 διάφορα χημικά υλικά τοποθετούνται στο κενό μεταξύ του χαλυβένιου σωλήνα-δέκτη και του γυάλινου καλλύματος για να απορροφήσουν τα μόρια του αερίου από το υγρό που πηγαίνουν από τον χαλυβένιο σωλήνα στον αύλακα.

Οι PTC ανακλαστήρες έχουν υψηλή κατοπτρική ανακλαστικότητα(μεγαλύτερη από 88%) ώστε να αντανακλούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία.Οι ηλιακοί ανακλαστήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως για τα PTC είναι επαργυρωμένοι στο πίσω μέρος καθρέφτες από γυαλί, αφού η ανθεκτικότητα και η ηλιακή φασματική ανακλαστικότητα τους είναι καλύτερη από το γυαλισμένο αλουμίνιο και τα επιμεταλλωμένα ακρυλικά κάτοπτρα τα οποία είναι επίσης διαθέσιμα στην αγορά. Η ηλιακή φασματική ανακλαστικότητα τους είναι τυπικά 0,93 για τα επαργυρωμένα γυάλινα κάτοπτρα και 0,87 για το γυαλισμένο αλουμίνιο. Χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο γυαλί χρησιμοποιείται για τους επαργυρωμένους γυαλινους ανακλαστήρες και ένας γυάλινος σωλήνας δέκτη για τη βελτίωση της ηλιακής μετάδοσης.

Τα PTC συνήθως εγκαθίστανται με την περιστροφή του άξονα προσανατολισμένου είτε στον Βορρά-Νότο είτε στην Ανατολή-Δύση, αν και οποιαδηποτε άλλη κατεύθυνση θα ήταν εφικτή Ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη επιβάλλεται από το σχήμα και τον προσανατολισμό του χώρου όπου έχουν εγκατασταθεί. Ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη επηρεάζει τη γωνία της ηλιακής προσπτωσης στο άνοιχτο επίπεδο του συλλέκτη το οποίο, με τη σειρά του, επηρεάζει την απόδοση του συλλέκτη.

Οι εποχιακές διακυμάνσεις του συλλέκτη που προσανατολίζεται στον Βορρά-Νότο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλες. Τρεις με τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια παρέχεται καθημερινά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με το χειμώνα, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές καιρικές συνθήκες. Οι εποχιακές διακυμάνσεις στην παροχή ενέργειας είναι πολύ μικρότερες για έναν συλεκτη προσανατολισμού Ανατολής-Δυσης, συνήθως λιγότερες από 50%.

Παρ 'όλα αυτά, ο συλλέκτης που προσανατολίζεται στον Βορρά-Νότο παρέχει περισσότερη ενέργεια σε ετήσια βάση. Η ημερήσια διακύμανση της γωνίας πρόσπτωσης είναι πάντα μεγαλύτερη για τον «ανατολικό-δυτικό» τύπου συλλέκτη, με μέγιστες τιμές κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου και τουλάχιστον 0° κάθε μέρα στο ηλιακό μεσημέρι.

Ως εκ τούτου, ο προσανατολισμός του άξονα περιστροφής είναι πολύ σημαντικός για την απόδοση του συλλέκτη και η επιλογή του καλύτερου προσανατολισμού εξαρτάται από τις απαντήσεις στις ακόλουθες ερωτήσεις:
-Ποια εποχή του χρόνου θα πρέπει το ηλιακό πεδίο να παράγει την περισσότερη ενέργεια;

-Αν απαιτείται περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι από τον χειμώνα, ο πιο κατάλληλος προσανατολισμός είναι βορρά-νότου.

-Είναι καλύτερα για την ενέργεια να κατανέμεται ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ το χειμώνα η παραγωγή είναι σημαντικά μικρότερη από ό, τι το καλοκαίρι ;

-Εάν η απάντηση είναι "ναι", ο καλύτερος προσανατολισμός είναι ανατολικά-δυτικά.

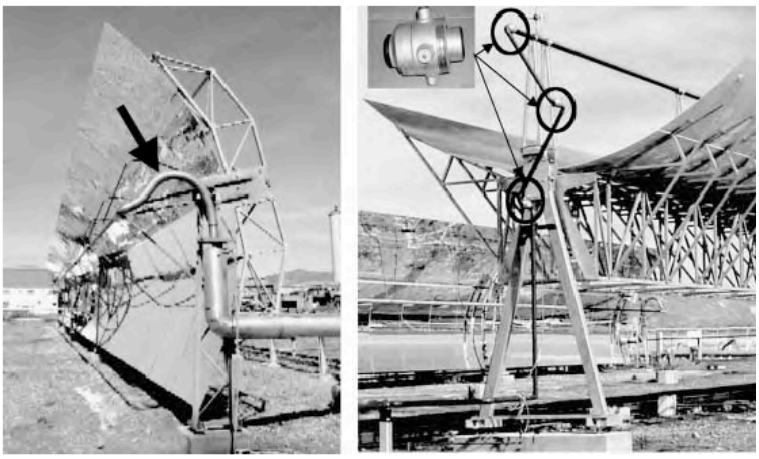
-Αναμένεται το ηλιακό πεδίο να παράγει το ίδιο ποσό θερμικής ενέργειας το καλοκαίρι και το χειμώνα;

-Εάν η απάντηση είναι ναι ο σωστός προσανατολισμός είναι ανατολικά-δυτικά.

Σε ένα τυπικό πεδίο PTC, αρκετοί συλλέκτες συνδέονται σε σειρά και κάνουν μια γραμμή , και μια σειρά γραμμών συνδέονται παράλληλα να επιτευχθεί η απαιτούμενη ονομαστική θερμική ισχύς στο σημείο του σχεδιασμού. Ο αριθμός συλλέκτων που συνδέονται σε σειρά σε κάθε γραμμή εξαρτάται από την αύξηση της θερμοκρασίας που πρέπει να επιτευχθεί μεταξύ της είσοδου και της έξοδου της γραμμής. Σε κάθε σειρά συλλεκτών, οι σωλήνες του δέκτη σε γειτονικά PTC πρέπει να συνδέονται με τις ευέλικτες αρθρώσεις για να επιταπεί η ελεύθερη περιστροφή των δύο συλλεκτών καθώς θα παρακολουθούν τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Είναι επίσης αναγκαίο να επιτραπεί η γραμμική θερμική διαστολή των σωληνών του δέκτη όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια εκκίνησης του συστήματος. Δύο κύριοι τύποι των ευέλικτων συνδέσεων είναι διαθέσιμες: οι εύκαμπτοι σωλήνες και οι συνδέσεις σφαιρικής άρθρωσης.

Τα PTC λειτουργουν σήμερα σε θερμοκρασίες άνω των 300°C και συνδέονται με σφαιρικές άρθρωσεις αντί των ευέλικτων σωλήνων. Επιπλέον, οι εύκαμπτες συνδέσεις που εγκαταστάθηκαν αρχικά στις μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας στην Καλιφόρνια μεταξύ του 1985 και 1990 έχουν αντικατασταθεί από αρθρώσεις ball joint επειδή είναι πιο αξιόπιστες και έχουν μειώσει τα έξοδα συντήρησης. Οι εύκαμπτοι σωλήνες είναι πιθανό να υποφέρουν από καταπόνηση με αποτέλεσμα την διαρροη , ενω οι σφαιρικές αρθρώσεις χρειάζονται μια σφραγιση απο γραφίτη η οποια πρέπει να ξαναγεμίζει μετά από πολλές χιλιάδες ώρες λειτουργίας.

Οι ευέλικτες συνδέσεις, επίσης, απαιτούν να συνδέθεί η γραμμή στον κύριο σωλήνα που ενώνει την εισόδο και την έξοδο της κεφαλης .Το Σχήμα 7 δείχνει τις τυπικές κεφαλές με εύκαμπτο σωλήνα και τις συνδέσεις σφαιρικής άρθρωσης.



LS-3 Collector ET-100 Collector

Σχήμα 7:Διαθέσιμες συνδέσεις

2.2 Διαθέσιμοι παραβολικοί συλέκτες

Διαθέσιμοι συλλέκτες στο εμπόριο είναι:

-Συστήματα Luz
-EuroTrough
-Solargenix

Συλλέκτες τύπου Luz

Οι συλλέκτες Luz αποτελούν το πρότυπο με το οποίο συγκρίνονται όλοι οι άλλοι συλλέκτες. Η βιομηχανική φύση αυτών των συλλεκτών-κατασκευασμένων από γαλβανισμένο ατσάλι- τους καθιστά κατάλληλους για εμπορικές εφαρμογές.Έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αξιόπιστοι. Για παράδειγμα, τα περισσότερα από τα συστήματα SEGS (ηλιακό σύστημα ηλεκτρικής παραγωγής) χρησιμοποιούσαν συλλέκτες Luz .

Υπάρχουν δύο τύποι συλλεκτών του συστήματος Luz: LS-2 και LS-3. Ο LS-2 συλλέκτης διαθέτει εναν πολύ ακριβή σχεδιασμό. Η δομή του σωλήνα ροπης τον καθιστά ικανό να ανυψώνεται και του παρέχει στρεπτική ακαμψία. Έχει έξι μέρη σωλήνα-συλλέκτη, τρία σε κάθε πλευρά του δίσκου. Κάθε σωλήνας ροπής έχει δύο 4-μέτρων-μήκους δέκτες. Δυστυχώς, ο σωλήνα ροπής χρησιμοποιεί πολύ υλικό απο χάλυβα και απαιτεί ακριβή παραγωγή για την κατασκευή.

Για τη μείωση του κόστους παραγωγής, η Luz σχεδίασε το ακόμα μεγαλύτερο LS-3 για να μειώσει την ανοχή κατασκευής και να απαιτει λιγότερο χάλυβα.

Απέδειξε ότι είναι ένας πολύ αξιόπιστος σχεδιασμός. Το LS-3 χρησιμοποιεί μια δομή γέφυρας ζεύξης στη θέση του σωλήνα ροπής. Ο συλλέκτης του LS-3 του Luz έχει συγκροτήματα ζευξης και στις δύο πλευρές του δίσκου. Κάθε LS-3 συγκρότημα έχει τρεις, 4-μέτρων-μήκους, δέκτες.

Ο σχεδιασμος της ζεύξης του LS-3 δεν μείωσε το κόστος παραγωγής όσο αναμενόταν. Επίσης υπέφερε από ανεπαρκή στρεπτική ακαμψία, η οποία οδήγησε σε χαμηλότερη από τα αναμενόμενα οπτική και θερμική απόδοση.

Συλλέκτης EuroTrough

Μετά τη διάλυση της Luz, μια ευρωπαϊκή κοινοπραξία,η EuroTrough-ξεκίνησε την ανάπτυξη ενός νέου σχεδιασμού συλλέκτη με στόχο να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα του LS-2 και LS-3. Ο συλλέκτης EuroTrough χρησιμοποίησε σχεδιασμό πλαίσιου ροπής για να ενσωματώσει τη στρεπτική ακαμψία του σωλήνα ροπής και την μικρότερη περιεκτικότητα σε χάλυβα ενός σχεδιου τύπου ζευξης

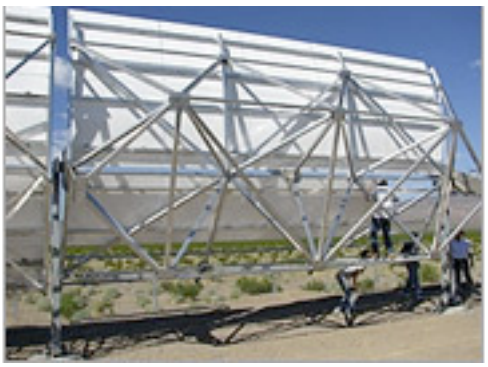
Συλλέκτης Solargenix

Ο συλλέκτης Solargenix είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο.Χρησιμοποιεί μια μοναδική οργανική δομή κέντρων δικτύου, η οποία αναπτύχθηκε απο την Gossamer Spaceframes αρχικά για κτίρια και γέφυρες.

Η νέα σχεδίαση:

-Ζυγίζει λιγότερο από τα σχέδια με χάλυβα
-Απαιτεί πολύ λίγους συνδετήρες
-Δεν απαιτεί καμία συγκόλληση ή εξειδικευμένη κατασκευή
-Συναρμολογείται εύκολα
-Δεν απαιτεί καμία ευθυγράμμιση πεδίου

Το 64-MWe παραβολικό κοίλο Solar One χαρακτηρίζει τον συλλέκτη Solargenix SGX-1 της Νεβάδα

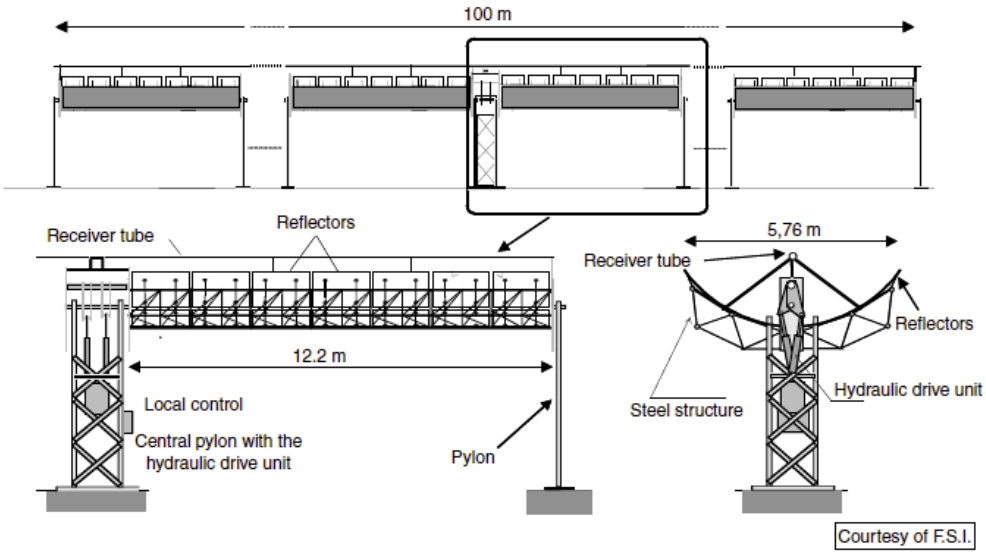


Εικόνα : Το πρώτο Solargenix SCX-1 παραβολικού συλλέκτη στην πόλη Boulder(Νεβάδα).

Εικόνα: Συλλέκτης EuroTrough

Εικόνα:LS-2 δέκτες.

Το παρακάτω Σχήμα 8 δείχνει τις συνολικές διαστάσεις του συλλέκτη LS-3 που είχε εγκατασταθεί στις εγκαταστάσεις SEGS αργότερα.



Σχήμα 8:Διαστάσεις LS-3 δέκτη

2.3 Δείκτες Απόδοσης και απώλειες σε ένα PTC

Τρεις από τις παραμέτρους που απαιτούνται για το σχεδιασμό ενός PTC είναι ο γεωμετρικός δείκτης συγκέντρωσης C, η γωνία εισόδου β, και η οριακή γωνία συλλεκτη φ. Ο δείκτης συγκέντρωσης είναι ο λόγος μεταξύ της επιφάνειας ανοίγματος συλλέκτη και του συνολικού εμβαδού του σωλήνα απορρόφησης, ενώ η γωνία εισόδου είναι η μέγιστη γωνία που μπορεί να διαμορφωθεί από δύο ακτίνες σε ένα επίπεδο εγκάρσιο στο άνοιγμα του συλλέκτη έτσι ώστε να σταματούν τη πορεία τους στο σωλήνα του δέκτη εφόσον πρώτα ανακλαστούν από τους παραβολικούς καθρέφτες. Ο λόγος συγκέντρωσης δίνεται από την σχέση:

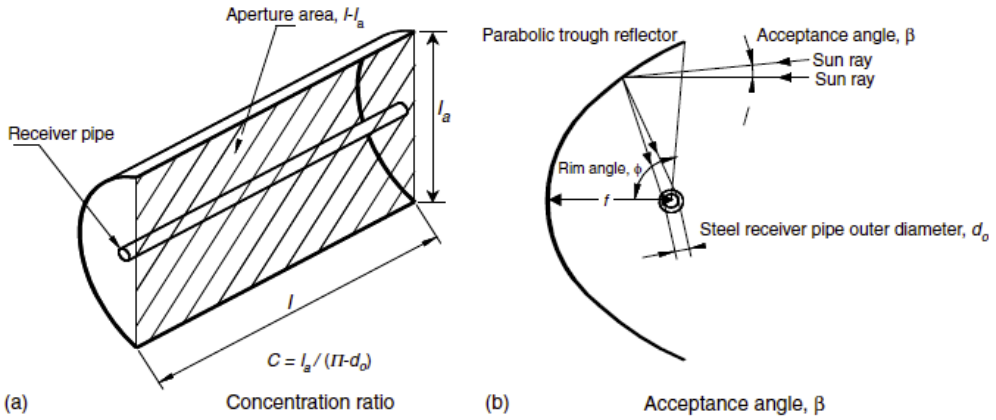
$$C=\frac{l_a l}{\pi d_0 l}=\frac{l_a}{\pi d_0}$$

όπου d_0 είναι η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα-δέκτη, l είναι το μήκος συλλέκτη, και l_a είναι το πλάτος παραβολής.Όσο πιο μεγάλη είναι η γωνία εισόδου τόσο λιγότερο ακριβής χρειάζεται να είναι το σύστημα παρακολούθησης αφού ο συλλέκτης δεν θα χρειαστεί να ενημερώνει τη θέση του τόσο συχνά. Συνήθεις τιμές του δείκτη συγκέντρωσης του PTC συστήματος είναι περίπου 20, ενώ η μέγιστη θεωρητική αξία είναι της τάξης των 70. Υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης σχετίζονται με πολύ μικρές γωνίες εισόδου, οι οποίες απαιτούν πολύ ακριβή συστήματα παρακολούθησης ήλιου και κατά συνέπεια υψηλότερο κόστος.

Η ελάχιστη πρακτική γωνία εισόδου είναι 0.53°, που είναι ο μέσος όρος γωνίας στην οποία ο ήλιος θεωρείται από τη γη. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε PTC με μια γωνία αποδοχής μικρότερη από 0.53°, πάντα θα έχανε ένα μέρος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Στην πραγματικότητα, οι συνιστώμενες εμπορικές γωνίες εισόδου PTC είναι μεταξύ 1°και 2°. Οι μικρότερες γωνίες θα απαιτούσαν περισσότερο ακριβή συστήματα παρακολούθησης ηλίου και συχνή ενημέρωση της θέσης του συλλέκτη, ενώ οι υψηλότερες τιμές οδηγούν σε μικρότερο λόγο συγκέντωσης C και, ως εκ τούτου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας. Ως εκ τούτου, οι τιμές γωνίας εισόδου μεταξύ 1° και 2° είναι οι πιο οικονομικά αποδοτικές.

Η οριακή γωνία του συλλέκτη φ(rim angle), σχετίζεται άμεσα με το μήκος τόξου του συλλέκτη και η τιμή της μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση ως συνάρτηση της παβολικής εστιακής απόστασης, f, και του πλάτους ανοίγματος, la:

$$\frac{l_a}{4f} = tan\frac{\varphi}{2}$$



Σχήμα 9: Ο δείκτης συγκέντρωσης και η γωνία αποδοχής ενός παραβολικού κοίλου συλέκτη

Συνήθεις τιμές για τις οριακές γωνίες σε PTC είναι μεταξύ 70° και 110°. Οι μικρότερες γωνίες χείλους δεν είναι ενδεδειγμένες διότι μειώνουν την επιφάνεια διαφράγματος. Όριακές γωνίες πάνω από 110°δεν είναι αποδοτικές, διότι αυξάνουν η συνολική επιφάνεια αντανάκλασης χωρίς αποτελεσματική αύξηση του πλάτους ανοίγματος.

Όταν η άμεση ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια του PTC, ένα σημαντικό ποσό χάνεται οφείλεται σε διάφορους διαφορετικούς παράγοντες. Η συνολική απώλεια μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες κατά φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας είναι:

-Οπτικές απώλειες

-Θερμικές απώλειες από το σωλήνα απορρόφησης στο περιβάλλον
-Γεωμετρικές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες σχετίζονται με τέσσερις παραμέτρους (βλ. Σχήμα 10), οι οποίες είναι:

-Ανακλαστικότητα ρ της επιφάνειας ανάκλασης του συλλέκτη: επειδή η ανακλαστικότητα του παραβολικού κοίλου συγκεντρωτή είναι μικρότερη από 1, μόνο ένα μικρό ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντανακλάται προς το σωλήνα-δέκτη. Τυπικές τιμές ανακλαστικότητας καθαρών επαργυρωμένων κατόπτρων από γυαλί είναι περίπου 0,93. Μετά το πλύσιμο των καθρεπτών η ανακλαστικότητα τους μειώνεται συνεχώς καθώς συσσωρεύεται σκόνη μέχρι το επόμενο πλύσιμο. Οι εμπορικοί παραβολικοί καθρέφτες πλένονται όταν η ανακλαστικότητα τους είναι περίπου 0,9.

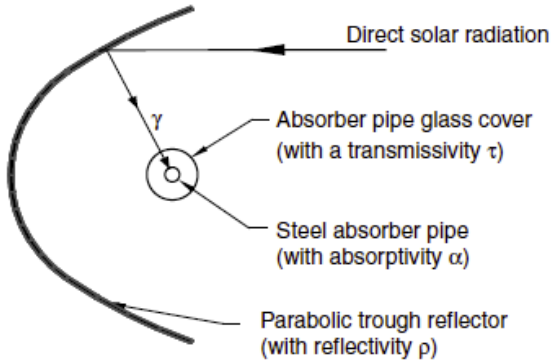
- παράγοντας ανάσχεσης γ: ένα μέρος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τους καθρέφτες δεν φτάνει το γυάλινο κάλυμμα του σωλήνα απορρόφησης είτε λόγω μικροσκοπικών ατελειών των ανακλαστήρων ή μακροσκοπικών λαθών στο σχήμα των παραβολικών συγκεντρωτών (π.χ., ανακρίβεια κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης). Τα σφάλματα αυτά προκαλούν ανάκλαση κάποιων ακτίνων σε λάθος γωνία, και κατά συνέπεια δεν ακολουθούν το σωλήνα απορρόφησης. Οι απώλειες αυτές περιγράφονται από ένα οπτικό παράμετρο που ονομάζεται παράγοντας ανάσχεσης γ, που είναι συνήθως 0,95 για έναν σωστά συναρμολογημμένο συλλέκτη

- Διαπερατότητα του γυάλινου σωλήνα τ: ο μεταλλικός σωλήνας απορρόφησης τοποθετείται μέσα σε έναν εξωτερικό γυάλινο σωλήνα προκειμένου να αυξηθεί το ποσό της ενέργειας που απορροφάται και να μειωθουν οι θερμικές απώλειες. Ένα μέρος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας αντανακλάται από τους καθρέφτες και φθάνοντας το γυάλινο κάλυμμα του σωλήνα απορρόφησης και δεν είναι σε θέση να περάσει μέσα από αυτό. Η σχέση μεταξύ της ακτινοβολίας που περνά μέσα από το γυάλινο σωλήνα και της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτό, δίνει την διαπερατότητα του γυάλινου σωλήνα τ η οποία είναι συνήθως 0.93.

-Απορροφητικότητα του μεταλλικού σωλήνα του δέκτη α: η παράμετρος αυτή προσδιορίζει το ποσό της ενέργειας που απορροφάται από το χαλυβένιο σωλήνα απορρόφησης, σε σύγκριση με το συνολική ακτινοβολία που φθάνει στο εξωτερικό τοίχωμα του σωλήνα από χάλυβα. Αυτή η παράμετρος είναι συνήθως 0,95 για σωλήνες δέκτη με επίστρωση κεραμομετάλλων ,ενώ είναι ελαφρώς χαμηλότερη για σωλήνες επικαλυμμένες με μαύρο νικέλιο η χρώμιο

Πολλαπλασιασμός των τεσσάρων αυτών παραμέτρων (ανακλαστικότητα, ανάσχεση, διαπερατότητα και απορροφητικότητα του σωλήνα), όταν η γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια διαφράγματος ειναι 0 ° δίνει την λεγόμενη μέγιστη οπτική απόδοση του PTC, $n_{opt,0°}$:

$$n_{opt,0°}=\rho \times \gamma \times \tau \times \alpha|_{\varphi=0°}$$



Σχήμα 10:οπτικοί παράμετροι ενός παραβολικού συστήματος

Το $n_{opt,0°}$ είναι συνήθως μεταξύ 0,70-0,76 για καλής ποιότητας PTC.

Η συνολική θερμική απώλεια ενός PTC, $PQ_{collector\rightarrow ambient}$, οφείλεται στην απώλεια θερμότητας ακτινοβολίας από το σωλήνα απορρόφησης στο περιβάλλοντον $PQ_{absorber\rightarrow ambient}$ και θερμαγωγικές και αγώγιμες απώλειες θερμότητας από τον σωλήνα της απορροφησης στον εξωτερικό γυάλινο σωλήνα, $PQ_{absorber\rightarrow glass}$.Αν και αυτή η απώλεια θερμότητας διέπεται από τους γνωστούς μηχανισμούς της ακτινοβολίας, αγωγιμότητας και συναγωγής, είναι μια καλή πρακτική να τις υπολογισουμε όλες μαζί χρησιμοποιώντας τον συντελεστή θερμικής απώλειας, $U_{L)abs}$ σύμφωνα με την εξίσωση:

$$PQ_{collector\rightarrow ambient} = U_{L)abs}\pi d_0 l(T_{abs} - T_{amb})$$

όπου T_{abs} είναι η μέση θερμοκρασία του σωλήνα απορρόφησης, T_{amb} είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, d_0 είναι η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα απορρόφησης, l είναι το μήκος του σωλήνα απορρόφησης (συνολικό μήκος του συστήματος) και $U_{L)abs}$ είναι ο συντελεστής θερμικών απωλειών.

Στην παραπάνω εξίσωση ο συντελεστής θερμικής απώλειας δίνεται σε μονάδες $({}^{W}/_{m^2_{abs}} \cdot K)$ ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνεια του χαλυβένιου σωλήνα απορρόφησης. Για να βρούμε την τιμή του συντελεστή θερμικής απώλειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του ανοίγματος του PTC, $U_{L)col}$:

$$U_{L)col}=U_{L)abs}/\mathrm{C}({}^{W}/_{m^2_{abs}} \cdot K)$$

Ο συντελεστής απώλειας θερμότητας εξαρτάται από την θερμοκρασία του σωλήνα απορρόφησης και βρίσκεται πειραματικά κατά την εκτέλεση συγκεκριμένων δοκιμών θερμικής απώλειας με την λειτουργία του PTC σε διάφορες θερμοκρασίες στην τυπική περιοχή θερμοκρασίας λειτουργίας. Η μεταβολή του συντελεστή θερμικής απώλειας σε σχέση με την θερμοκρασία του σωλήνα δέκτη εκφράζεται με μια εξίσωση πολωνύμου δευτέρου βαθμού όπως η παρακάτω εξίσωση , με τους συντελεστές a,b,c να υπολογίζονται πειραματικά:

$$U_{L)abs} = a + b(T_{abs} - T_{amb}) + c(T_{abs} - T_{amb})^2 (\frac{W}{m_{abs}^2 \cdot K})$$

Μερικές φορές είναι δύσκολο να βρούμε τιμές για τους συντελεστές a,b,c που να ισχύουν για ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.Όταν συμβαίνει αυτό διαφορετικές τιμές δίδονται για τις μικρότερες περιοχές θερμοκρασίας. Ο παρακάτω Πίνακας δίνει τις τιμές των συντελεστών a,b,c που έχουν υπολογιστεί πειραματικά από την Ajona για τους LS-3 συλλέκτες εγκατεστημένους σε SEGS VIII και IX.

Πίνακας:Τιμές των συντελεστών a,bκαι c για έναν LS-3 συλλέκτη

$T_{abs}/(^{\circ}C)$	a	b	c
<200	0.687257	0.001941	0.000026
>200; <300	1.433242	−0.00566	0.000046
>300	2.895474	−0.0164	0.000065

Μια τυπική τιμή της$U_{L)abs}$ για σωλήνες απορρόφησης με κενό στο χώρο μεταξύ του εσωτερικού σωλήνα και του εξωτερικό γυάλινου σωλήνα είναι μικρότερη από 5 $\frac{W}{m_{abs}^2 \cdot K}$. Οι συνθήκες υψηλού κενού δεν είναι αναγκαίες για την σημαντική

μειωση των απώλειων της θερμότητας συναγωγής. Ωστόσο, η χαμηλή θερμική σταθερότητα του ζεστου αέρα από τα επιχρίσματα τσιμέντου που χρησιμοποιούνται σήμερα σε αυτούς τους σωλήνες απαιτεί υψηλά κενά για να εξασφαλιστεί καλή αντοχή στην επίστρωση.Η βέλτιστη απόσταση μεταξύ του σωλήνα απορρόφησης και του εξωτερικού γυάλινου σωλήνα για δέκτες χωρίς κενό ,ωστε να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας συναγωγής υπολογίζεται ως συνάρτηση του αριθμού Rayleigh .Η πιθανή κύρτωση του σωλήνα από χάλυβα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν επίσης, για τον καθορισμό του ελάχιστου κενού, διότι η πιθανότητα επαφής με το γυάλινο κάλυμμα πρέπει να αποφεύγεται.

Η τρίτη ομάδα των απωλειών σε ένα PTC είναι οι γεωμετρικές απώλειες που οφείλονται στη γωνία προσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο ανοίγματος του συλλέκτη. Η γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου που είναι κάθετο στο επίπεδο του ανοίγματος και του ηλιακού διανύσματος, ενώ και το κάθετο επίπεδο και το ηλιακό διάνυσμα εμπεριέχονται σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα του συλλέκτη.Η γωνία αυτή εξαρτάται από την ημέρα του έτους και την ώρα της ημέρας.

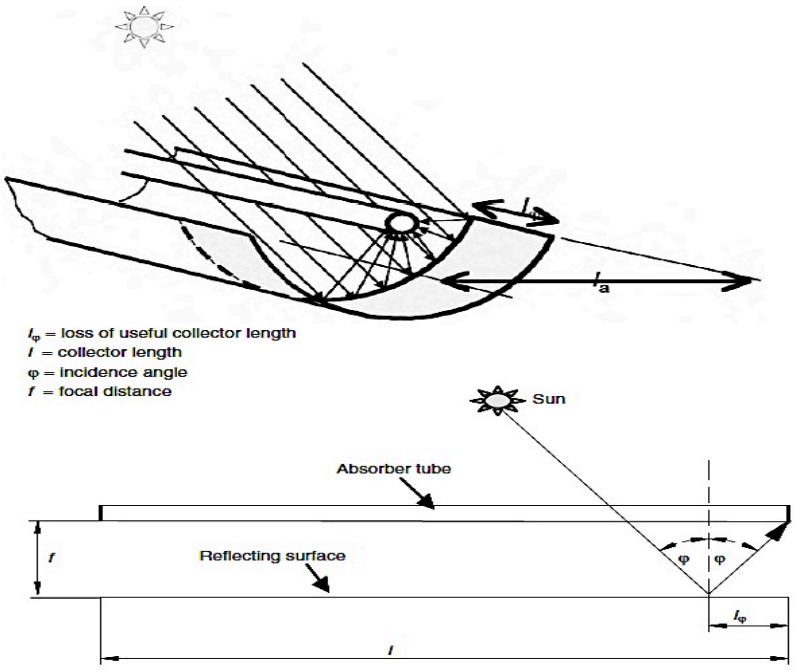
Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, γιατί το ποσοστό της άμεσης ακτινοβολίας που είναι χρήσιμη για τον συλλέκτη είναι ευθέως ανάλογη προς την συνημίτονο της γωνίας, η οποία επίσης μειώνει την ωφέλιμη επιφάνεια ανοίγματος του PTC (βλ. Σχήμα 11). Η γωνία πρόσπτωσης μειώνει την έκταση του ανοίγματος του PTC

κατά ποσότητα A_ε που ονομάζεται γεωμετρικές οριακές απώλειες και υπολογίζεται ως εξής:

$$A_e = l_a\, l_\Phi = l_a\, f_m \tan\varphi$$

$$f_m = f + [(f\, l_a^2)/(48\, f^2)]$$

όπου l_a είναι το πλάτος της παραβολής, l_φ είναι το μήκος του συλλέκτη που μένει ανεκμετάλευτο λόγω της συγκεκριμένης γωνίας φ, f είναι η εστιακή απόσταση του παραβολικού συγκεντρωτή, f_m είναι η μέση εστιακή απόσταση σε ένα εγκάρσιο τμήμα του παραβολικού συγκεντρωτή, και φ είναι η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας



Σχήμα 11:Γεωμετρικές απώλειες απώλειεςστο τέλος του συλλέκτη

Η γωνία πρόσπτωσης επηρεάζει επίσης τους οπτικούς παραμέτρους του PTC (δηλαδή την ανακλαστικότητα καθρέφτη, την απορροφητικότητα επίστρωσης, το σημείο τομής και την μεταδοτικότητα γυαλιού), διότι αυτές οι παράμετροι δεν είναι ισοτροπικοί. Οι οπτικές και οι γεωμετρικές απώλειες λόγω μιας γωνίας πρόσπτωσης φ>0 μπορούν να εκφραστούν με το συντελεστή $K(\varphi)$, που είναι γνωστός ως μετατροπέας της γωνίας πρόσπτωσης και εξαρτάται άμεσα από την γωνία πρόσπτωσης ενώ δίνεται συνήθως από μια πολυωνυμική εξίσωση έτσι ώστε να είναι ίσος με 0 για φ=90°, και ίσος με 1 για φ=0°Ως εκ τούτου, για παράδειγμα, ο τροποποιητής της γωνίας πρόσπτωσης για LS-3 συλλέκτη δίνεται από τον τύπο :

$$K(\varphi) = 1 - 2{,}23073E - 4 \times \varphi - 1{,}1E - 4 \times \varphi^2 + 3{,}18596E - 6 \times \varphi^3 - 4{,}85509E - 8 \times \varphi^4$$

$K(\varphi) = 0$ για $(85° < \varphi < 90°)$

όπου Ε είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Οι συντελεστές της εξίσωσης αυτής υπολογίζονται πειραματικά μέσω των δοκιμών που πραγματοποιούνται με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης.Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό του PTC και την θέση του Ηλίου η οποία μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με τη βοήθεια του αζιμουθίου, AZ, και της γωνίας του υψόμετρου, EL. Για την οριζόντιους προσανατολισμούς PTC βορρά-νότου και ανατολής-δύσης η γωνία πρόσπτωσης δίνεται από την εξίσωση 1 και εξίσωση 2 αντίστοιχα. Η γωνία ανύψωσης ηλίου μετριέται με σημείο αναφοράς τον ορίζοντα (θετική προς τα πάνω), ενώ το αζιμούθιο με σημείο αναφοράς τον Νότο και τη θετική φορά του ρολογιού.

Εξίσωση 1: $\varphi = \arccos[1 - \cos^2(EL)\cdot\sin^2(AZ)]^{1/2}$

Εξίσωση 2: $\varphi = \arccos[1 - \cos^2(EL)\cdot\cos^2(AZ)]^{1/2}$

2.4 Ενεργειακό Ισοζύγιο

Ο συνδοιασμός τριών διαφορετικών αποδόσεων:

$\eta_{ολ}$ = ολική απόδοση

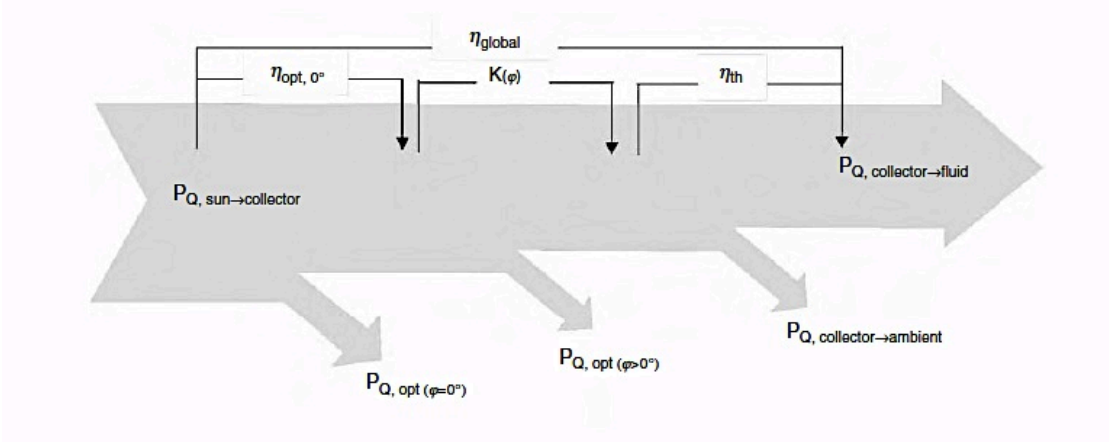
$\eta_{opt,0^o}$= μέγιστη οπτική απόδοση (οπτική απόδοση με γωνία πρόσπτωσης 0°)

η_{th} = θερμική απόδοση

και της παραμέτρου:

$K(\varphi)$ = *μετατρόπεας της γωνίας πρόσπτωσης,*

περιγράφει τη συμπεριφορά του PTC. Ο καθορισμός τους περιγράφεται γραφικά στο διάγραμμα του Σχήματος 12, το οποίο δείχνει καθαρά ότι ένα τμήμα της ενεργειακής ροής στο επίπεδο του ανοίγματος συλλέκτη χάνεται εξαιτίας οπτικών απωλειών, ενώ ένα άλλο τμήμα χάνεται λόγω μιας γωνίας πρόσπτωσης φ>0°, το οποίο λαμβάνεται υπόψη από τον μετατροπέα γωνίας πρόσπτωσης, Κ(φ). Οι υπόλοιπες απώλειες του PTC είναι οι θερμικές απώλειες του σωλήνα απορρόφησης.



Σχήμα 12:Διάγραμμα αποδόσεων και απωλειών στοPTC

Όπως εξηγείται παραπάνω , η μέγιστη οπτική απόδοση, $\eta_{\text{οπτ},0°}$, αφορά όλες τις οπτικές απώλειες που εμφανίζονται με μια γωνία πρόσπτωσης φ=0°. Ο μετατροπέας γωνίας πρόσπτωσης, K(φ), περιλαμβάνει όλες τις οπτικές και γεωμετρικές απώλειες για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από 0°. Η θερμική απόδοση, η_{th}, περιλαμβάνει όλες τις απώλειες θερμότητας του σωλήνα απορρόφησης μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας.

Η ολική απόδοση, $\eta_{\text{ολ}}$, εξετάζει τα τρία είδη απωλειών του PTC (οπτικές, γεωμετρικές, και θερμότητας) και μπορεί να υπολογιστεί ως συνάρτηση της μέγιστης οπτικής απόδοσης, του μετατροπέα γωνίας πρόσπτωσης, και της θερμικής απόδοσης από την παρακάτω εξίσωση

$$n_{o\lambda} = n_{o\pi\tau,o°} K(\varphi)\, n_{th}$$

Η ολική απόδοση υπολογίζεται επίσης ως ο λόγος της καθαρής θερμικής ενέργειας εξόδου που ελευθερώνεται από το συλλέκτη, $P_{Qcollector\rightarrow fluid}$, και της προσπίπτουσας ηλιακής ισχύος στο επίπεδο του ανοίγματος συλλέκτη, $P_{Qsun\rightarrow collector}$ από τις εξισώσεις:

$$n_{ol} = \frac{P_{Qcollector\rightarrow fluid}}{P_{Qsun\rightarrow collector}} (1)$$

$$P_{Qsun\rightarrow collector} = A_c E_d \cos(\varphi) (2)$$

$$P_{Qcollector\rightarrow fluid} = q_m (h_{out} - h_{in}) (3)$$

A_c=επιφάνεια ανοίγματος συλλέκτη

E_d=άμεση ηλιακή ακτινοβολία

φ=γωνία πρόσπτωσης,

q_m=μέση θερμορροή του υγρού

h_{in}=μέση ενθαλπία του υγρού στην είσοδο του συλλέκτη

h_{out}=μέση ενθαλπία του υγρού στην έξοδο του συλλέκτη.

Η καθαρή θερμική ισχύς εξόδου που διανέμεται απο το PTC μπορεί να υπολογιστεί την εξίσωση (3) άν η ροή του υγρού και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου είναι γνωστές κατά την περίοδο που ο συλλέκτης είναι σε λειτουργία.

Ωστόσο αυτά τα στοιχεία δεν είναι γνωστά κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής φάσης του ηλιακού πεδίου και έτσι η αναμενόμενη θερμική ισχύς εξόδου πρέπει να υπολογιστεί αρχικά από τις τιμές της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της γωνίας πρόσπτωσης και των οπτικών, θερμικών και γεωμετρικών παραμέτρων. Η εξίσωση (4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόν το λόγο:

$$P_{Qcollector\rightarrow fluid} = P_{Qsun\rightarrow collector} \cdot n_{o\lambda} =$$

$$A_c \cdot E_d \cdot \cos(\varphi) \cdot n_{\text{οπτ},0^\circ} K(\varphi) \cdot n_{th} \cdot F_e \quad (4)$$

Από πρακτική άποψη, ο υπολογισμός της καθαρής θερμικής ενέργειας εξόδου κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδίασης είναι ευκολότερος εάν χρησιμοποιηθούν οι θερμικές απώλειες, $P_{Qcollector\rightarrow ambient}$ αντί της θερμικής απόδοσης,n_{th}. Σε αυτήν την περίπτωση, η καθαρή θερμική ισχύς εξόδου δίνεται εξίσωση (5):

$$P_{Qcollector\rightarrow fluid} = A_c \cdot E_d \cdot \cos(\varphi) \cdot n_{\text{opt},0^\circ} \cdot K(\varphi) \cdot F_e - P_{Qcollector\rightarrow ambient} =$$

$$= A_c \cdot E_d \cdot \cos(\varphi) \cdot n_{\text{opt},0^\circ} \cdot K(\varphi) \cdot F_e - U_{L)\text{abs}} \pi\, d_0\, l\, (T_{\text{abs}} - T_{\text{amb}}) \quad (5)$$

όπου $n_{\text{opt},0^\circ} = \rho \times \gamma \times \tau \times \alpha \,|_{\varphi=0^\circ}$

και F_e είναι ο συντελεστής ακαθαρσιών(ρύπανσης) με $0< F_e<1$ και έχει σχέση με τις ακαθαρσίες του σωλήνα γυαλιού και τα κάτοπτρα του συλλέκτη.Αρα η ανακλαστικότητα και διαπερατότητα ειναι μικρότερες απο την ονομαστικη τιμη.Συνήθης τιμή του F_e είναι 0,97, το οποίο σημαίνει μια ανακλαστικότητα των κακτόπτρων γυρω στο 0,90 για ονομαστικη ανακλαστικότητα 0,93.

2.5 Βιομηχανικές Εφαρμογές

Το τεράστιο δυναμικό της αγοράς για τα υπάρχοντα ηλιακά συστήματα με PTCμπορεί να φανεί καθαρά από τα στατιστικά στοιχεία.

Η βιομηχανία των ΗΠΑ και αυτή της Ισπανίας χρησιμοποιεί σε μεγάλο ποσοστο τα PTC και καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των εγχωριων ενεγειακών αναγκών τους.

Εκτός από αυτό το μεγάλο δυναμικό της αγοράς για τα PTC υπάρχει επίσης και περιβαλλοντικό όφελος: σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, η ηλιακή ενέργεια δεν μολύνει το περιβάλλον και είναι ανεξάρτητη από πολιτικές ή οικονομικές διακοπές του εφοδιασμού (λόγω του πολέμου μποϋκοτάζ, κ.λπ.). Οι βιομηχανικές ενεργειακές απαιτήσεις της διαδικασίας πληρούνται κυρίως

από συστήματα ατμού.Ο ατμός είναι το πιο κοινό μέσο μεταφοράς θερμότητας στη βιομηχανία για θερμοκρασίες κάτω από 250°C, όπουκαι υπάρχει μεγάλη εμπειρία. Συμπαγείς ατμογεννήτριες έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αξιόπιστες.Η ενσωμάτωση ενός ηλιακού συστήματος παραγωγής ατμού για μια δεδομένη βιομηχανική διαδικασία περιλαμβάνει μια απλή μονάδα διεπαφής για την τροφοδότηση ατμού απευθείας στην υφιστάμενη διαδικασία, χωρίς σημαντικές αλλαγές της εγκατάστασης. Ο ατμός μέσης θερμοκρασίας τροφοδοτείται στα PTC με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας ενός υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλής πίεσης ρευστού στους ηλιακούς συλλέκτες και μεταφέροντας την θερμότητα σε άψητο λέβητα όπου παράγεται ατμός. Ένα έλαιο χρησιμοποιείται ευρέως για το σκοπό αυτό.

-κυκλοφορόντας ζεστό νερό υπό πίεση στους ηλιακούς συλλέκτες και μετατρέποντας το σε ατμό υποπίεσης σε ειδική δεξαμενή.Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για θερμοκρασίες που δεν είναι πολύ υψηλες (κάτω 200°C), λόγω της υψηλής πίεσης που απαιτείται στα σωλήνες απορρόφησης και τις ειδικές δεξαμενές για υψηλότερες θερμοκρασίες.

-Θερμαίνοντας απευθείας νερό στους συλλέκτες(η λεγόμενη διαδικασία DSG).

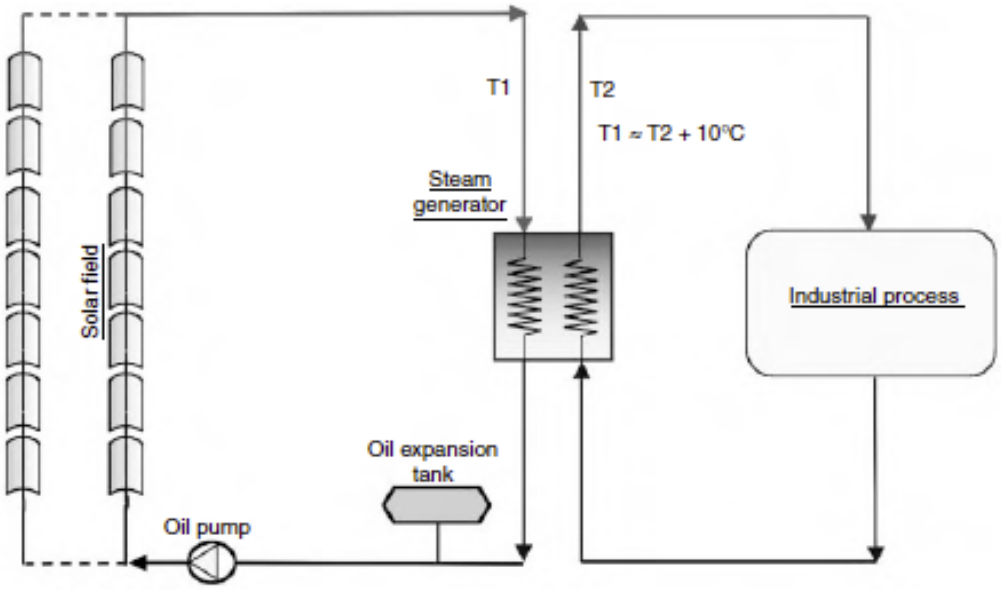
2.5.1 Σύστημα Λέβητα μη εκτεθιμένου σε φωτιά(unfired)

Το σχήμα 13 δείχνει το διάγραμμα για ένα σύστημα ατμολέβητα PTC. Θερμαινόμενο υγρό κυκλοφορεί μέσω του συλλέκτη και παράγεται ατμός σε ένα ειδικό λέβητα. Μια μορφη του συστήματος, που φαίνεται στο Σχήμα 13, ενσωματώνει προθερμαντήρες στην γραμμη μορφοποίησης του νερού που αυξάνουν το κόστος του σύστηματος αλλά και μειώνουν τη θερμοκρασία εισόδου στο ηλιακό πεδίο. Το νερό θα μπορούσε να κυκλοφορήσει στο βρόγχο του συλλέκτη, αλλά γενικά το υγρό επιλέγεται να είναι υποθερμικος υδρογονάνθρακας, ή λάδι σιλικόνης.

Η χρήση του λαδιού υπερνικάει τα μειονεκτήματα που συνδέονται με το νερό (υψηλή πίεση του ατμού και κίνδυνος κατάψυξης) και μπορεί να εξυπηρετήσει την αποθήκευση ενέργειας, αλλά ορισμένα χαρακτηριστικά από αυτά τα λάδια μπορούν να προκαλέσουν άλλα προβλήματα. Γενικά, πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις για να αποτραπεί η διαρροή λαδιου από το σύστημα, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει πυρκαγιά. Το λάδι είναι επίσης ακριβό και έχει φτωχότερες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας από το νερό. Είναι εξαιρετικά ιξώδεις όταν είναι κρύο και μια αντλία θετικού εκτοπίσματος μερικές φορές χρειάζεται για να ξεκινήσει το σύστημα αφού έχει κρυώσει. Η χρήση του υγρού που μεταφέρει θερμική ενέργεια από το ηλιακό πεδίο στον λέβητα όπου παράγεται ατμός είναι διεθνώς γνωστή ως τεχνολογία μεταφοράς θερμότητας ρευστού (Heat Transfer Fluid (HTF)).

Ο λέβητας είναι ένα ακριβό στοιχείο που απαιτεί σωλήνες αλουμινίου για προστασία από τη διάβρωση, και αυτό είναι μια επιπλέον αντίσταση στη ροή θερμότητας. Όπως και στο σύστημα ατμού «flash», οι συλλέκτες πρέπει να λειτουργούν σε μια θερμοκρασία 20°C περίπου πάνω από τη θερμοκρασία παροχής ατμού. Ο ατμός της διαδικασίας πρέπει να διατηρείται σε μια ορισμένη

θερμοκρασία, έτσι ώστε η ηλιακή παραγωγή ατμού να είναι σε μια μεταβλητή ροή ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο άνοιγμα των ηλιακών συλλεκτών. Η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη πρέπει να διατηρείται σταθερή με τη μεταβολή της ταχύτητας της ροής του ελαίου μέσω των συλλεκτων καθώς η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργειας ποικίλλει από το πέρασμα ενός συνέφου ή από οποιαδήποτε άλλη αιτία.



Σχήμα 13:Unfired boiler steam generating system.

2.5.2 Συστήματα "flash steam"

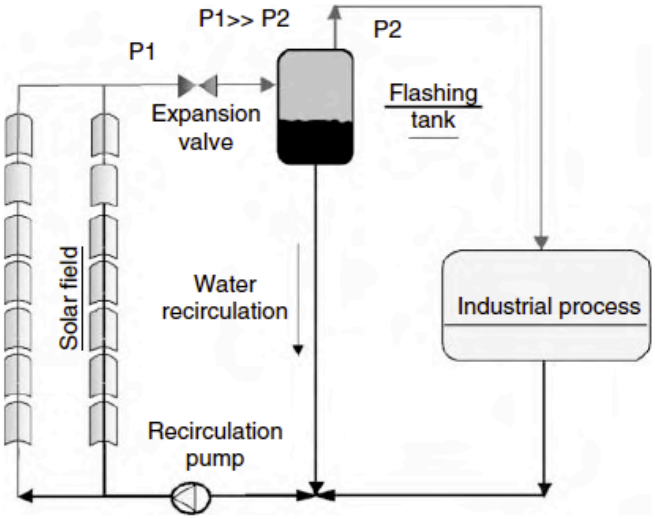
Ένα διάγραμμα ενός συστήματος flash steam φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 14. Νερό σε αρκετά υψηλή πίεση για την πρόληψη βρασμού κυκλοφορεί μέσω του πεδίου του συλλέκτη. Αυτή η συνεχής διαδικασία ενθαλπίας μετατρέπει την αισθητή θερμότητα του νερού στη λανθάνουσα θερμότητα ενός διφασικού μίγματος για τις συνθήκες που επικρατούν στο διαχωριστικό. Η μέγιστη ποιότητα ατμού (δηλαδή, το κλάσμα της συνολικής ροής η οποία μετατρέπεται σε ατμό) είναι λιγότερο από 10% λόγω θερμοδυναμικών περιορισμών. Ο ατμός που παράγεται τροφοδοτεί τη βιομηχανική διαδικασία, ενώ το νερό που απομένει στο ντεπόζιτο «flash» ανακυκλώνεται με το ηλιακό πεδίο εισόδου. Η υδροδοτηση εγχέεται από τη δεξαμενή φλας στην αντλία αναρρόφησης για να διατηρηθεί το επίπεδο του υγρού στη δεξαμενή.

Χρησιμοποιώντας το νερό σαν ρευστό μέσο μεταφοράς θερμότητας απλοποιείται η κατασκευή ενός συστήματος ατμού φλας. Ωστόσο, παρόλο που το νερό είναι ένα άριστο μέσο μεταφοράς θερμότητας, προβλήματα ψύξης μπορούν να εμφανιστούν. Ως εκ τούτου, ο ψυκτικός μηχανισμος προστασίας πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά και ελέγχεται για να διασφαλιστεί ότι ένα ελάχιστο ποσό θερμότητας παρέχεται στο νερό για να αποφύγεται η κατάψυξή του, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Τα μειονεκτήματα του συστήματος ατμού φλας συνδέονται με το μηχανισμό παραγωγής ατμού.Οι θερμοκρασίες συλλέκτη πρέπει να είναι σημαντικά

υψηλότερες από τη θερμοκρασίες παροχής ατμού για την παραγωγή καλής ποιότητας ατμού στην βαλβίδα στραγγαλισμού και τον περιορισμό του ποσοστού ανακυκλοφορίας του νερού.Όμως οι υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν την απόδοση του συλλέκτη. Επιπλέον, η αντλία κυκλοφορίας πρέπει να ξεπεράσει την πτώση πίεσης κατά μήκος της βαλβίδας φλας, η οποία μπορεί να είναι σημαντική.

Επιπλέον, η ταχεία αύξηση της πίεσης υδρατμών σε θερμοκρασίες άνω των 175°C θέτει όρια στην πίεση του ατμού η οποία με τη μέθοδο αυτή πρέπει να είναι περίπου 2 MPa (305 psig) για αποδεκτά επίπεδα ηλεκτρική ενέργειας που απαιτείται για την άντληση. Για υψηλότερες πιέσεις, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας ανακυκλοφορίας θα ήταν υπερβολική και θα έθετε σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα του όλου συστήματος.



Σχήμα 14: Ηλιακό σύστημα "flash steam"

2.5.3 Αμεση παραγωγή ατμού(DSG)

Η DSG στους σωλήνες απορρόφησης των PTC είναι μια ελκυστική ιδέα, διότι ο μέσος όρος λειτουργίας θερμοκρασία συλλέκτη θα είναι κοντά στη θερμοκρασία παροχής ατμού, διότι η αλλαγή φάσης μειώνει την απαιτούμενη ροή του νερού μέσω της αντλίας κυκλοφορίας. Το διάγραμμα του συστήματος θα είναι παρόμοιο με εκείνο του συστήματος ατμού φλας, αλλά χωρίς βαλβίδα φλας. Τα μειονεκτήματα σχετίζονται με το θερμουδραυλικό πρόβλημα που σχετίζεται με τη διφασική ροή που υπάρχει στο τμήμα εξάτμισης του ηλιακού πεδίου. Παρ 'όλα αυτά, τα πειράματα που διεξάχθηκαν στο PSA στην Ισπανία έχουν αποδείξει την τεχνική εφικτότητα του DSG ,με οριζόντια PTC σε 100 bar/400°C .

2.6 Το μέγεθος και η διάταξη των ηλιακών πεδίων με PTC

Ένα τυπικό πεδίο ηλιακών συλλεκτών παραβολικού τύπου (Σχήμα 15 παρακάτω) αποτελείται από ένα αριθμό παράλληλων γραμμών που σχηματίζονται από αρκετους συλλέκτες οι οποίοι συνδέονται σε σειρά, έτσι ώστε το λειτουργικό ρευστό που κυκλοφορεί μέσω του σωλήνα απορρόφησης

να θερμαίνεται καθώς περνά από την είσοδο στην έξοδο της κάθε γραμμής. Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός ηλιακού πεδίου παραβολικού κοίλου είναι ο ορισμός του λεγόμενου σημείου σχεδίασης , το οποίο εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων που καθορίζουν τις επιδόσεις στον ηλιακό τομέα. Οι παράμετροι που πρέπει ορισθούν για το σημείο σχεδίασης είναι:

- Ο προσανατολισμός του συλλέκτη

-Η ημερομηνία (μήνας και ημέρα) και η ώρα του σημείου σχεδιασμού

-Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του αέρα για την επιλεγμένη ημερομηνία και ώρα

- Η γεωγραφική θέση του τόπου εγκατάστασης (γεωγραφικό πλάτος και μήκος)

-Η συνολική θερμική ισχύς που πρέπει να παραδοθεί από το ηλιακό πεδίο

- Ο παράγοντας ακαθαρσίας του ηλιακού συλλέκτη

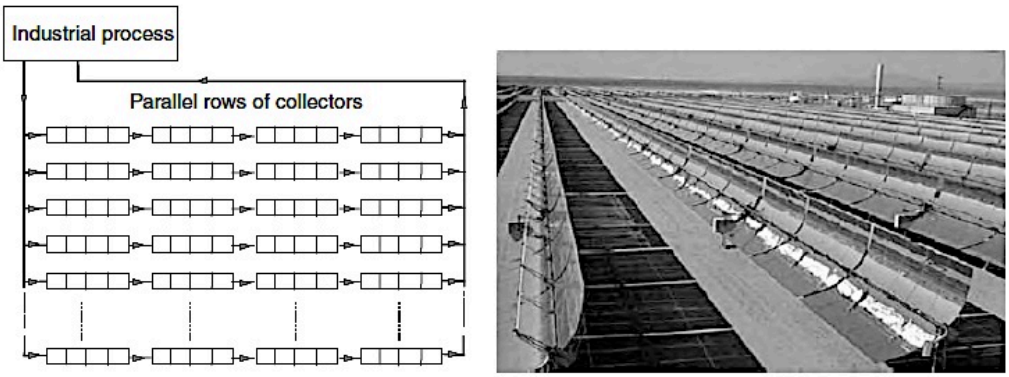
- Οι θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου του ηλιακού πεδίου

- Το ρευστό για τους ηλιακούς συλλέκτες

- Ο ονομαστικός ρυθμός ροής του υγρού

Αν χρησιμοποιείται έλαιο στο πεδίο του ηλίου για να μεταφέρει την ενέργεια σε λέβητα unfired(HTF τεχνολογία), τότε η επιλεγμένη θερμοκρασία του υγρού στο ηλιακό πεδίο πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 °C υψηλότερη από την θερμοκρασία του ατμού που απαιτείται από τη διαδικασία. Για παράδειγμα, εάν η βιομηχανική διαδικασία που θα τροφοδοτείται από το ηλιακό σύστημα απαιτεί 300°C ατμού, η θερμοκρασία του λαδιού στο ηλιακό πεδίο πρέπει να είναι περίπου 315°C. Αυτή η διαφορά είναι αναγκαία για να αντισταθμίσει τις θερμικές απώλειες μεταξύ του ηλιακού τομέα εξόδου ,της εισόδου , της γεννήτριας ατμού και του σημείου αποκοπής του λέβητα και είναι της τάξης των 5-7°C.

Αφού το σημείο του σχεδιασμού έχει καθοριστεί, ο αριθμός των συλλεκτών που θα συνδεθούν σε σειρά σε κάθε γραμμή μπορεί να υπολογίζεται με βάση τις παραμέτρους του επιλεγμένου PTC (μέγιστη οπτική απόδοση γωνίας προσπτωσης τροποποιητή, συντελεστής θερμικών απωλειών και η περιοχή διαφράγματος) και του υγρού (πυκνότητα, θερμοχωρητικότητα και δυναμικό ιξώδες).



Σχήμα 15: Ένα τυπικό ηλιακό πεδίο με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες

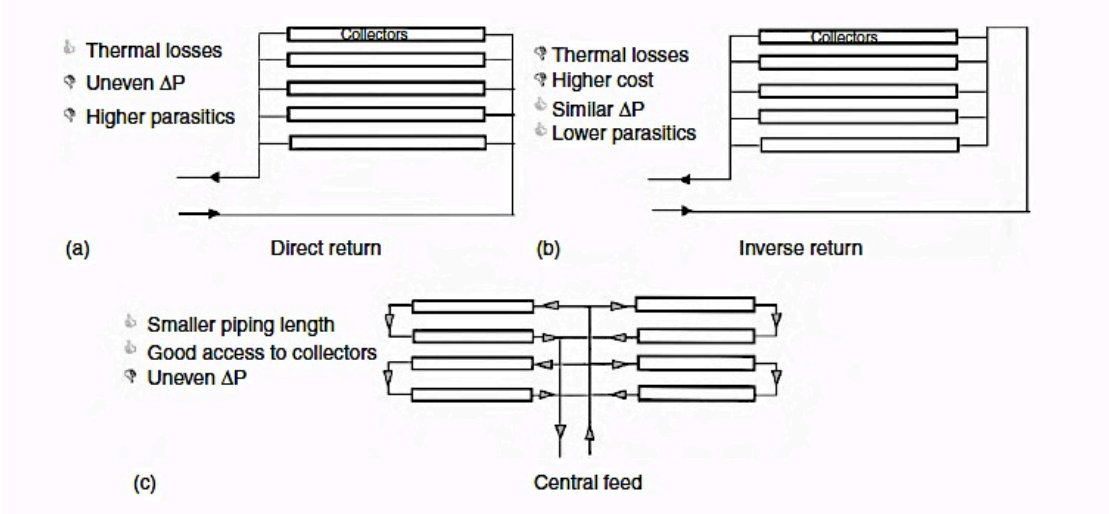
Ο αριθμός των συλλεκτών σε κάθε γραμμή εξαρτάται από την ονομαστική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εισόδου και εξόδου του ηλιακού πεδίου,ΔΤ, και του ενιαίου βήματος θερμοκρασίας συλλέκτη, ΔT_c .Ως εκ τούτου, εάν ένα πεδίο συλλέκτη προορίζεται για την παροχή θερμικής ενέργειας unfired λέβητα που απαιτεί ένα βήμα θερμοκρασία 70 °C μεταξύ εισόδου και εξόδου, με ονομαστική θερμοκρασία στην είσοδο 220°C, είσοδο και έξοδο σε κάθε γραμμή σε θερμοκρασίες 220°C και 290°C, αντίστοιχα, με ΔΤ=70°C. Μετά από αυτό αφού η ΔT_c χει καθοριστεί, ο αριθμός των συλλεκτών που απαιτούνται σε κάθε γραμμή, N, δίνεται από τη σχέση:

$$N=\frac{\Delta T}{\Delta T_c}$$

όπου N είναι ο αριθμός των συλλεκτών που θα συνδεθούν σε σειρά σε μια γραμμή, ΔΤ είναι η διαφορά θερμοκρασίας που απαιτείται από τη βιομηχανική διεργασία, και ΔT_c είναι η διαφορά μεταξύ της ονομαστικής θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου της λειτουργίας.

Αφού ο αριθμός των συλλεκτών που θα συνδεθούν σε σειρά σε κάθε γραμμή έχει υπολογιστεί, το επόμενο βήμα είναι να καθορίστεί ο αριθμός των γραμμών που πρέπει να συνδεθούν παράλληλα. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τη θερμική ενέργεια που απαιτεί η βιομηχανική διεργασία. Η διαδικασία για τον καθορισμό του αριθμού των γραμμών υπολογίζεται σαν τον λόγο μεταξύ της θερμικής ισχύος που απαιτείται από τη βιομηχανική διαδικασία προς την θερμική ισχύ που παραδίδεται από μια ενιαία σειρά των συλλεκτών στο σημείο του σχεδιασμού.

Μετά τη μέτρηση του ηλιακού πεδίου, ο σχεδιαστής πρέπει να σχεδιάσει τις σωληνώσεις. Τρία βασικά σχέδια χρησιμοποιούνται στον τομέα του ηλιακού πεδίου των PTC. Αυτές οι διατάξεις (απευθείας επιστροφή, αντίστροφη επιστροφή, και κέντρο τροφοδοσίας) παρουσιάζονται σχηματικά στο σχήμα 16 παρακάτω:



Σχήμα 16:Διατάξεις ηλαικού πεδίου για PTC

Σε όλες τις τρεις επιλογές, η θερμή έξοδος των σωλήνων είναι μικρότερη από την ψυχρή είσοδο των σωλήνων για την ελαχιστοποίηση των θερμικων απώλειεων . Η διάταξη της άμεσης επιστροφής των σωλήνων είναι η πιο απλή και ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη σε μικρά ηλιακά πεδία. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι υπάρχει μια πολύ μεγαλύτερη διαφορά πίεσης μεταξύ των εισόδων σε παράλληλες σειρές, έτσι ώστε ειδικές βαλβίδες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να κρατήσουν τα ποσοστά ροής ίσα σε κάθε γραμμή. Οι βαλβίδες αυτές προκαλούν σημαντική πτώση της πίεσης στην αρχή του πίνακα, και έτσι η συμβολή τους στη συνολική απώλεια πίεσης του συστήματος είναι επίσης σημαντική. Το αποτέλεσμα είναι υψηλότερη παρασιτική κατανάλωση ενέργειας από ό, τι για την διάταξη αντίστροφης-επιστροφής όπου το ρευστό εισέρχεται στο αντίθετο άκρο των συλλεκτών. Κεφαλές σωλήνων με διαφορετικές διαμέτρους χρησιμοποιούνται σε αυτή τη ρύθμιση για την εξισορρόπηση της ροής .

Η διάταξη αντίστροφης-επιστροφής έχει εγγενώς πιο ισορροπημένη ροή. Ενώ μπορεί να απαιτούνται βαλβίδες , η πρόσθετη απώλεια πίεσης του συστήματος είναι πολύ χαμηλότερη από ότι στην διάταξη απευθείας-επιστροφής.

Το επιπλέον μήκος των σωληνώσεων στο ηλιακό πεδίο εισαγωγής είναι ένα μειονέκτημα στη διαμόρφωση αντίστροφης-επιστροφής λόγω της πρόσθετης απώλειας θερμότητας, αν και αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή θερμοκρασία στην είσοδο του τομέα. Εάν αυτή η θερμοκρασία είναι χαμηλή, η πρόσθετη απώλεια θερμότητας είναι αμελητέα. Προσθέτοντας σε μήκος σωλήνα, ωστόσο, οδηγούμαστε σε υψηλότερες σωληνώσεις και μόνωσεις και αυξανεται το κόστος του υγρού.

2.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με PTC

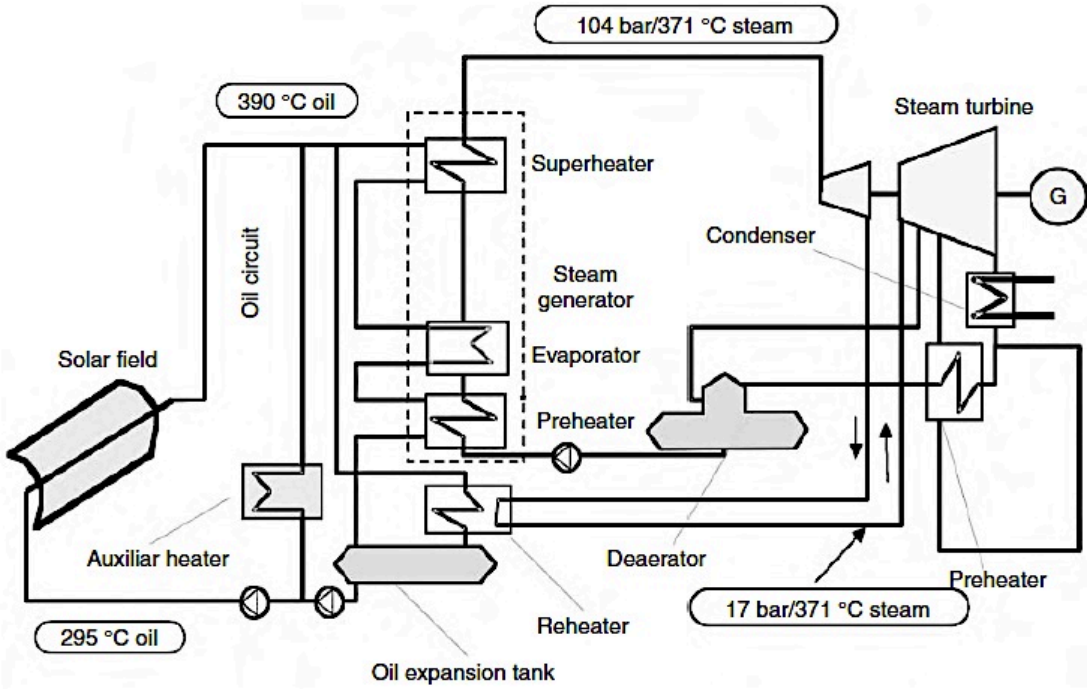
Το κατάλληλο εύρος θερμοκρασίας των PTC και οι καλές τους απόδοσεις μετατροπής της ηλιακης σε θερμική ενέργεια μέχρι ως και 400°C καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση του ηλιακού πεδίου PTC σε κύκλο Rankine νερού/

ατμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το απλοποιημένο σχήμα μιας ηλιακής θερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας του PTC, ενσωματωμένης σε ένα κύκλο Rankine φαίνεται στο Σχήμα 17 παρακάτω . Μέχρι στιγμής, όλες οι ηλιακές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με PTC χρησιμοποιούν την τεχνολογία HTF επειδή η παραγωγή ατμού flash δεν είναι κατάλληλη για πίεση ατμού 100 bar και εμπορικά δεν έχει ακόμη αποδειχθεί.

Η ηλεκτροπαραγωγή του κυλινδροπαραβολικού σταθμού βασικά αποτελείται από τρία στοιχεία: το ηλιακό σύστημα, την γεννήτρια ατμού και το σύστημα μετατροπής της ενέργειας (PCS) (βλ. Σχήμα 17 παρακάτω). Το ηλιακό σύστημα αποτελείται από ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών και το κύκλωμα του ελαίου.

Το ηλιακό πεδίο συλλέγει την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια με τη μορφή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια καθώς η θερμοκρασία του λαδιού που κυκλοφορεί στον συλλέκτη αυξάνεται .

Αφότου θερμανθεί στον ηλιακό τομέα, το λάδι πηγαίνει στη γεννήτρια ατμού, η οποία είναι ενας εναλλάκτης θερμότητας ελαίου-νερού όπου το λάδι μεταφέρει θερμική ενέργεια στο νερό που χρησιμοποιείται για να παράγει το υπέρθερμο ατμό ο οποίος χρησιμοποιείται από την τουρμπίνα. Η γεννήτρια ατμού είναι, ως εκ τούτου, η διεπαφή μεταξύ του ηλιακού συστήματος (ηλιακο πεδίο + κύκλωμα ελαίου) και του ίδιου PCS. Κανονικά, η γεννήτρια ατμού που χρησιμοποιείται σε αυτές τις μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας αποτελείται από τρία στάδια:
-Προθερμαντήρας: όπου το νερό προθερμαίνεται σε θερμοκρασία κοντά στην εξάτμιση
- Εξατμιστήρας: όταν η προθερμασμένο νερό εξατμίζεται και μετατρέπεται σε κορεσμένο ατμό



Σχήμα 17:Απλοποιημένο σχήμα του ηλιακου θερμικού εργοστασίου

-Υπερθερμαντήρας: ο κορεσμένος ατμός που παράγεται στον εξατμιστήρα θερμαίνεται στον υπερθερμαντήρα στην θερμοκρασία που απαιτείται από τον ατμοστρόβιλο.
Το PCS(Power conversion system) μετατρέπει τη θερμική ενέργεια που παραδίδεται από το ηλιακό πεδίο σε ηλεκτρική ενέργεια , χρησιμοποιώντας τον υπέρθερμο ατμό που παράγεται από τη γεννήτρια ατμού. Αυτο το PCS είναι παρόμοιο με ένα συμβατικο σταθμό Rankine, εκτός από την πηγή θερμότητας. Ο υπέρθερμος ατμός που προέρχεται από τη γεννήτρια ατμού στη συνέχεια πηγαίνει στον ατμοστρόβιλο οποίος κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Η τουρμπίνα ατμού συνήθως αποτελείται από δύο διαδοχικά στάδια, για υψηλή και χαμηλή πίεση ατμού. Ο ατμός αφήνοντας το στρόβιλο υψηλής πίεσης πηγαίνει στον αναθερμαντήρα του οποίου η θερμοκρασία ανεβαίνει πριν από την είσοδο στο στάδιο της χαμηλής πίεσης του στρόβιλου.

Μετά από αυτό το στάδιο, ο ατμός συμπυκνώνεται και το συμπύκνωμα πηγαίνει σε ενά εξαεριστή νερού για την απομάκρυνση του οξυγόνου και αερίων που διαλύονται στο νερό. Ο ατμος αφήνοντας το στρόβιλο χαμηλής πίεσης στάδιο μπορεί να συμπυκνωθεί, είτε σε υγρό σύστημα ψύξης (εξατμιστικός πύργος ψύξης) ή σε ένα ξηρό σύστημα ψύξης (αερόψυκτος συμπυκνωτής). Η επιλογή του καλύτερου συστήματος ψύξης επηρεάζεται έντονα από την διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων. Η κύρια αντλία παίρνει νερό για την γεννήτρια ατμού από το εξαεριστικο, αρχίζοντας έτσι τον Rankine θερμοδυναμικό κύκλο ξανά.

Οι κυλινδροπαραβολικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής συνήθως έχουν ένα βοηθητικό θερμαντήρα φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η άμεση ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη,ενώ η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το φυσικό αέριο πάντα περιορίζεται σε λογικά επίπεδα. Αυτό το όριο αλλάζει από τη μια χώρα στην άλλη: 25% στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ),15% στην Ισπανία και χωρίς όριο στην Αλγερία.

2.8 Θερμικά Συστήματα Αποθήκευσης

Το κύριο πρόβλημα με τη χρήση ηλιακής ακτινοβολίας οτι είναι διαλείπουσα και πρέπει να συλλέγεται μόνο τις ώρες της μέρας. Υπάρχει ένας πρόσθετος περιορισμός ότι τα συστήματα αυτά μπορούν να συλλέγουν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή χρειάζονται καθαρό ουρανό, επειδή τα σύννεφα μπλοκάρουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης λύνουν αυτά τα προβλήματα.

Όταν ένα ηλιακό σύστημα δεν χρειάζεται να παρέχει θερμική ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις συννεφιασμένες περιόδους, ένα σύστημα αποθήκευσης δεν είναι απαραίτητο. Από την άλλη πλευρά, εάν η βιομηχανική διαδικασία πρέπει να τροφοδοτείται και κατά τη διάρκεια περιόδων χωρίς άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ένα σύστημα αποθήκευσης χρειάζεται για να αποθηκευθεί η θερμική ενέργεια που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τις ώρες της ηλιοφάνειας.

Τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης έχουν δύο βασικά πλεονεκτήματα:

- Η ηλιοθερμική ενέργεια μπορεί να παρέχεται κατά τις ώρες που η άμεση ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη, έτσι ώστε η συλλογή ηλιακής ενέργειας και ο εφοδιασμός θερμικής ενέργειας δεν πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα.
- Το ηλιακό πεδίο εισόδου μπορεί να απομονωθεί από ενδεχόμενες διαταραχές στην έξοδο, διότι το σύστημα αποθήκευσης συμπεριφέρεται ως ένα καλό μαξιλάρι και αποτρέπει την ανατροφοδότηση των διαταραχών που σχετίζονται με την θερμοκρασία εξόδου του ηλιακού πεδίου.

Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι σημαντικό, διότι ενισχύει τη λειτουργία του ηλιακού τομέα σε συννεφιασμένες μέρες. Ανεξάρτητα από τον αποτελεσματικό έλεγχο του ηλιακού πεδίου , η θερμοκρασία ρευστού στην έξοδο επηρεάζεται απο τα μεταβατικά σύννεφα και αυτό οδηγεί σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας . Αυτές οι διακυμάνσεις επηρεάζουν άμεσα την θερμοκρασία ρευστού στην είσοδο, αν δεν υπάρχεα ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης ενδιάμεσα. Ένα ζεστό σύστημα αποθήκευσης νερού, όπως αυτό που χρησιμοποιείται σε χαμηλής θερμοκρασίας ηλιακά συστήματα (δηλαδή, συλλέκτες flatplate) δεν είναι κατάλληλο για παραβολικά συστήματα ύφεσης, επειδή η υψηλή πίεση μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης θα καθιστούσε το σύστημα πάρα πολύ ακριβό. Για το λόγο αυτό τα PTC απαιτούν ένα διαφορετικό μέσο αποθήκευσης.

Ανάλογα με το μέσο στο οποίο η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται, υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων: μονά συστήματα αποθήκευσης και διπλά συστήματα αποθήκευσης.

2.8.1 Συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης

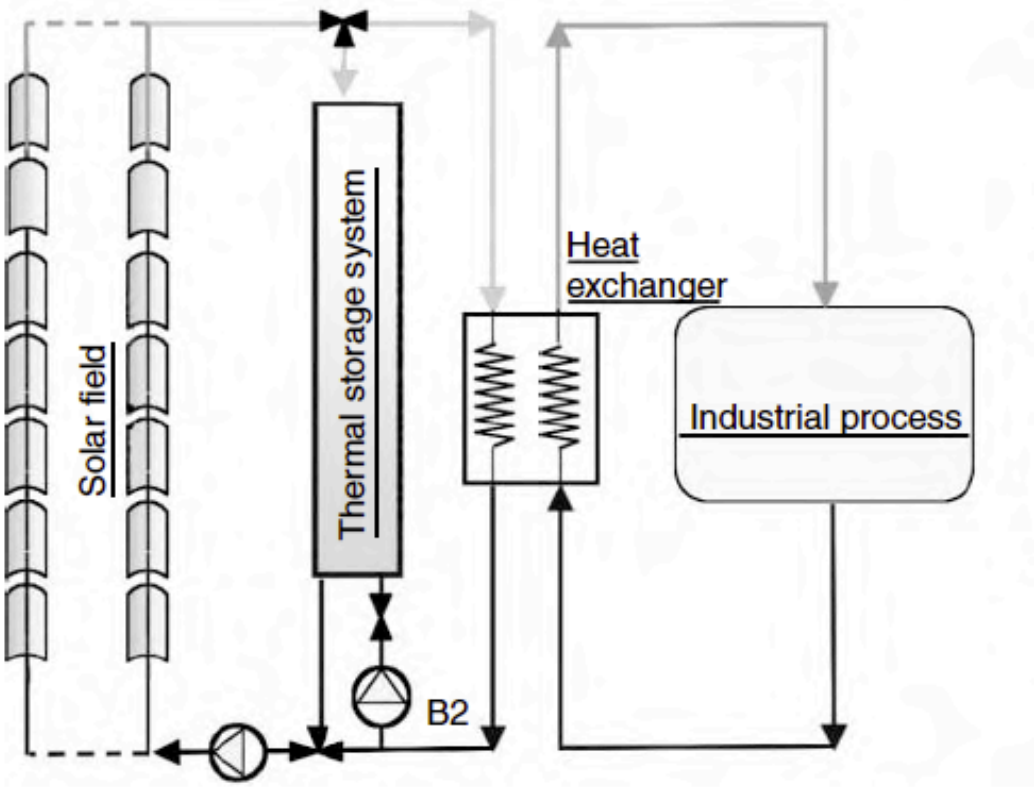
Τα μονά συστήματα αποθήκευσης είναι εκείνα στα οποία το μέσο αποθήκευσης είναι ίδιο με το ρευστό που κυκλοφορεί στους συλλέκτες. Το πιο συνηθισμένο είναι η θερμικό έλαιο τόσο για φέρον ρευστό και το μέσο αποθήκευσης.Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών είναι πάνω από 90%. Τα συστήματα αποθήκευσης λαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους:
-Με μια απλή δεξαμενή λαδιού.Για χαμηλής δυναμικότητας συστημάτα αποθήκευσης, η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μια ενιαία δεξαμενή, στην οποία το ελαιό είναι τοποθετημένο κατά στρώματα ανάλογα με την θερμοκρασία.Το Σχήμα 18(a)παρακάτω δείχνει αυτό το είδος του συστήματος όπου το ηλιακό πεδίο μπορεί να παρέχει θερμό έλαιο στη δεξαμενή μέσω μιας τριοδικής βαλβίδας, εγκατεστημένης στην είσοδο και την έξοδο του ηλιακού πεδίου, έτσι ώστε όλο το υγρό ή μόνο ένα μέρος του να εισέρχεται. Η πυκνότητα του θερμικού ελαίου ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό με τη θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, για παράδειγμα, η πυκνότητα του πετρελαίου Santotherm 55 στους 90°C είναι 842,5 kg/m^3, ενώ στους 300°C είναι701,4 kg/m^3. Λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας, το θερμό έλαιο παραμένει στα ανώτερα στρώματα της δεξαμενής αποθήκευσης, ενώ το κρύο λάδι παραμένει πάντα στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 18a, ο λέβητας που παρέχει τη θερμική ενέργεια που απαιτείται από τη βιομηχανική διεργασία μπορεί να τροφοδοτείται είτε από τη δεξαμενή αποθήκευσης ή από το ηλιακό πεδίο, ανάλογα με τη θέση της βαλβίδας τριών δρόμων.
Όταν εκκενώνεται το σύστημα αποθήκευσης, το θερμό έλαιο φεύγει απο την δεξαμενή από την κορυφή της πολλαπλής εξαγωγής και επιστρέφει στο κάτω

μέρος μετά την έξοδο από το λέβητα. Η αντλία B2 χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για να τροφοδοτήσει το λέβητα από τη δεξαμενή αποθήκευσης, όταν το ηλιακό πεδίο δεν είναι σε λειτουργία. Το ψυχρο έλαιο αναχωρεί από το κάτω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης και πηγαίνει στο ηλιακό πεδίο κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας για να θερμανθεί και στη συνέχεια επιστρέφει στην κορυφή της δεξαμενής αποθήκευσης.
Το σύστημα αποθήκευσης είναι πλήρως φορτισμένο όταν όλο το έλαιο που αποθηκεύεται στη δεξαμενή είναι ζεστό. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η χρήση μιας ενιαίας δεξαμενή αποθήκευσης είναι εφικτή μόνο για μικρά συστήματα αποθήκευσης. Για μεγάλης χωρητικότητας συστήματα, δύο δεξαμενές ελαίου (Δηλαδή, μία δεξαμενή για το κρύο λάδι και άλλο για καυτό λάδι) είναι απαραί-τητες.
-Συστήματα με δύο δεξαμενές ελαίου. Υπάρχουν δύο δεξαμενές ελαίου σε αυτά τα συστήματα (βλ. Σχήμα 18(b)), μία θερμή δεξαμενή και μία ψυχρή δεξαμενή. Ο λέβητας τροφοδοτείται πάντα από την θερμή δεξαμενή και όταν το έλαιο έχει μεταφέρει τη θερμότητα στο νερό που βρίσκεται στον άψητο λέβητα, πηγαίνει στην ψυχρή δεξαμενή. Αυτή η δεξαμενή τροφοδοτεί το ηλιακό πεδίο, το οποίο κατά τον ίδιο χρόνο τροφοδοτεί τη θερμή δεξαμενή με το λάδι που θερμαίνεται από τους ηλιακούς συλλέκτες.

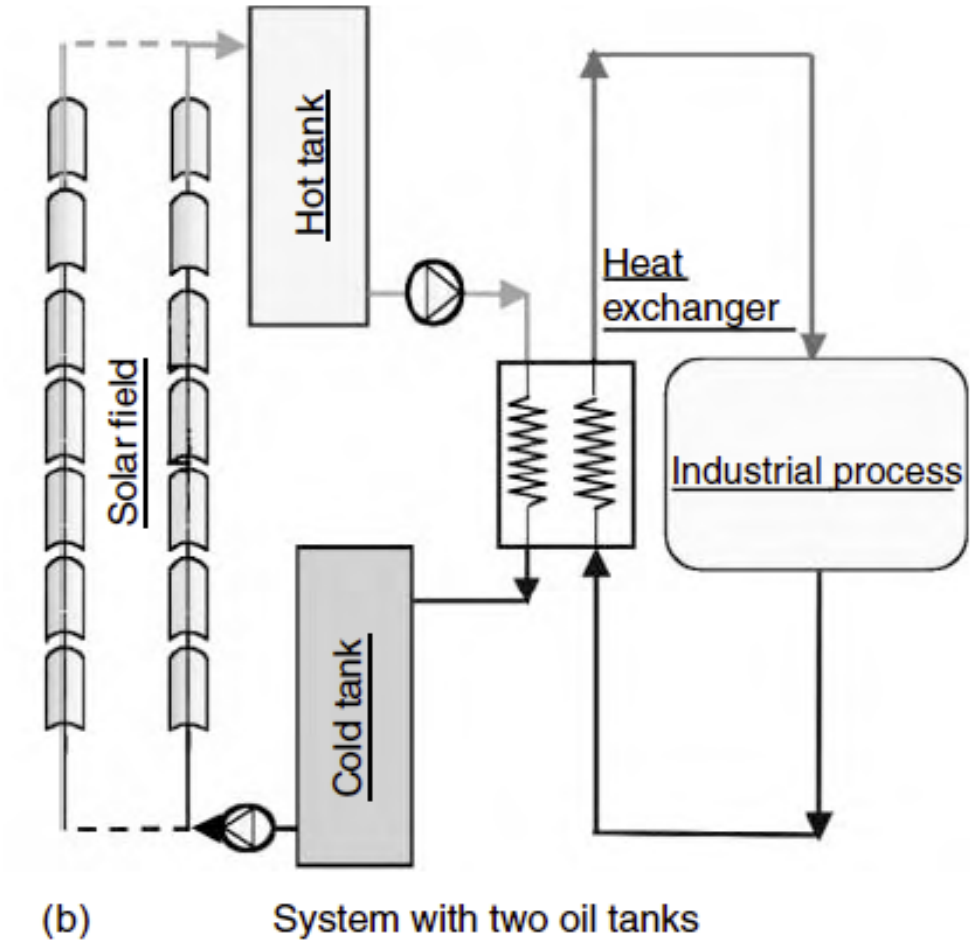
Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του ελαίου ως μέσο αποθήκευσης είναι η ανάγκη να διατηρηθεί το λάδι στο χώρο της δεξαμενης αποθήκευσης υπό πίεση και σε αδρανή ατμόσφαιρα. Τα θερμικά έλαια πρέπει να διατηρούνται σε πίεση ατμού πάνω από την πίεση που αντιστοιχεί στη μέγιστη θερμοκρασία για να αποτραπει η μετατροπή του ελαίου σε αέριο. Ευτυχώς, η πίεση των θερμικών ελαίων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά είναι συνήθως χαμηλή για το εύρος θερμοκρασίας 100-400 °C και αυτή η πίεση μπορεί εύκολα να συντηρείται με την έγχυση αργού ή αζώτου.Αυτή η αδρανή ατμόσφαιρα που δημιουργείται αποτρέπει τον κίνδυνο της έκρηξης στη δεξαμενή, από την πίεση σταγονιδίων, τα οποία είναι εκρηκτικά στον αέρα.

Ένα άλλο μειονέκτημα των συστημάτων ελαίου είναι η ανάγκη για κατάλληλα συστήματα πυρόσβεσης, καθώς και μιας δεξαμενής λαδιού για τη συλλογή τυχόν διαρροών ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση. Όλος ο συμπληρωματικός εξοπλισμός αυξάνει το κόστος του συστήματος αποθήκευσης. Τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης ελαίου έχουν συνήθως δύο συστήματα ασφαλείας για την αποφυγή υπερβολικών υπερπίεσεων μέσα στη δεξαμενή, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται:
-Μια βαλβίδα εκτόνωσης για την εκτόνωση του N_2 στην ατμόσφαιρα όταν η πίεση μέσα στη δεξαμενή είναι πάνω από μια προκαθορισμένη τιμή.Αυτή η βαλβίδα λειτουργεί συνήθως όταν η πίεση μέσα στη δεξαμενή αυξάνει αργά(για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της φόρτισης)
-Όταν λόγω του μικρού τμήματος της βαλβίδας εκτόνωσης, δεν μπορεί να διαλύσει τις απότομες υπερπιέσεις υπάρχει μία πρόσθετη συσκευή ασφαλείας για το σκοπό αυτό: ένας κεραμικός δίσκος θραύσης βαθμολογημενος σε στάδια πίεσης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την ταχεία εκκένωση των αερίων στην ατμόσφαιρα. Ο δίσκος ρήξης είναι καταστροφικός , γιατί αποτελείται από μια κεραμική μεμβράνη που σπάει αν η πίεση στη δεξαμενή είναι υψηλότερη από ότι έχει βαθμονομηθεί.

Ο δίσκος ρήξης λειτουργεί μόνο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όταν η η πίεση ανεβαίνει τόσο γρήγορα ώστε η βαλβίδα αποπίεσης δεν μπορεί να κρατήσει την πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής κάτω από το όριο. Ένα πρόσθετο βοηθητικό σύστημα απαιτείται στις θερμική δεξαμενές αποθήκευσης ελαίου σε μικρο δοχείο στο σημείο που το αέριο και οι ουσίες που παράγονται από πυρόλυση ελαίου, συμπυκνώνονται και εκκενώνονται.



(a) System with a single oil tank

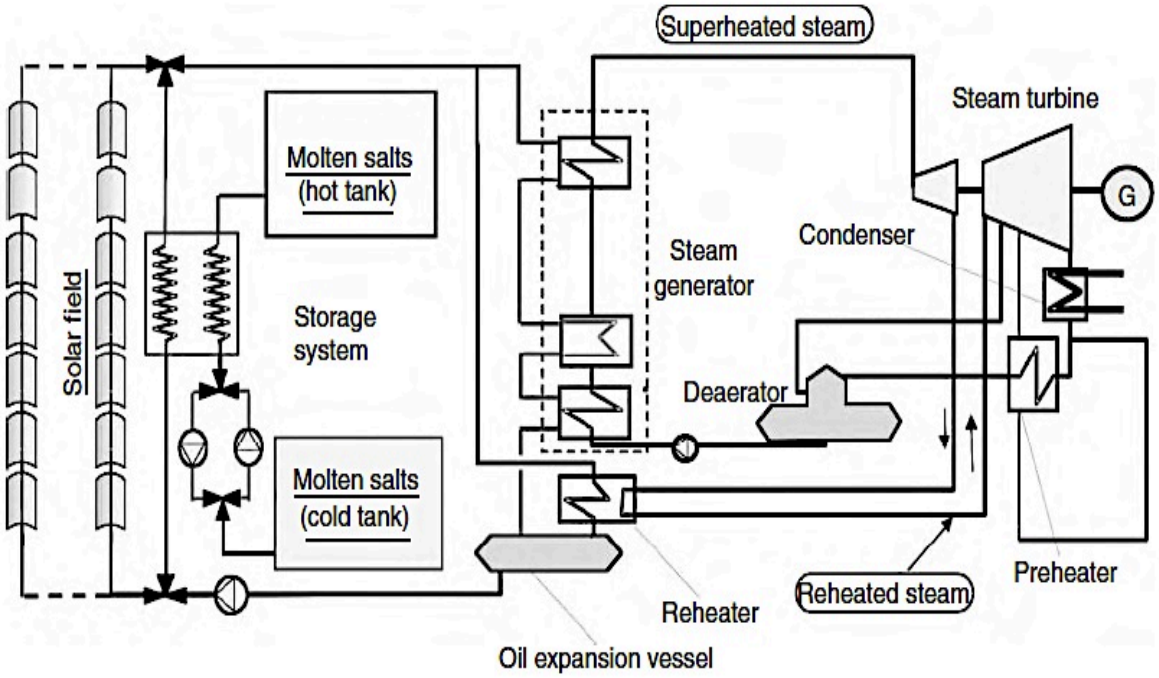


Σχήμα 18:Θερμικά συστήματα αποθήκευσης με ένα ή δύο δοχεία ελαίου

2.8.2 Συστήματα με διπλο μέσο αποθήκευσης

Συστήματα με διπλό μέσο αποθήκευσης είναι εκείνα στα οποία η θερμότητα αποθηκεύεται σε ένα μέσο διαφορετικό απο το λειτουργικό υγρό που θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες.
Πλάκες σιδήρου, κεραμικά υλικά, τετηγμένα άλατα, ή σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο αποθήκευσης. Στα συστήματα αυτά, το έλαιο χρησιμοποιείται συνήθως ως μέσο μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ηλιακού πεδίου και του υλικού στο οποίο η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται υπό μορφή αισθητής θερμότητας.
-Στην περίπτωση της αποθήκευσης θερμότητας σε πλάκες σιδήρου, λάδι κυκλοφορεί μέσω των καναλιών που είναι μεταξύ των πλακών χυτού σιδήρου που ειναι τοποθετημένες μέσα σε ένα θερμικά μονωμένο δοχείο, μεταφέροντας θερμική ενέργεια σε αυτές (διαδικασία φόρτισης) ή λαμβάνοντας από αυτές (διαδικασία εκφόρτισης).

-Λιωμένα άλατα (ένα ευτηκτικό μείγμα του νατρίου και του νιτρικού καλίου), μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τα διπλά θερμικά συστήματα αποθήκευσης στα PTC. Στην περίπτωση αυτή, δύο δεξαμενές χρειάζονται , μία για κρύο λιωμένο αλάτι και η άλλη για αποθήκευση του θερμού τηγμένου άλατος . Προφανώς, η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι πάντα πάνω από το σημείο τήξης του άλατος (περίπου 250°C). Στην περίπτωση αυτή, ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι αναγκαίος για τη μεταφορά ενέργειας από το έλαιο που χρησιμοποιείται στο ηλιακό πεδίο (μέσο μεταφοράς θερμότητας) στο λιωμένο αλάτι που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση (μέσο αποθήκευσης). Το σχήμα 19 παρακάτω δείχνει ένα απλοποιημένο σύστημα κυλινδρο–παρα-βολικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με θερμικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας τηγμένου άλατος. Αυτό το είδος του σύστηματος θερμικής αποθήκευσης φέρεται να είναι η πιο αποδοτική επιλογή για μεγάλες εμπορικές μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 19: Σχήμα παραβολικού κοίλου με αποθηκευτικό σύστημα τηγμένου άλατος

Εικόνα:Σύστημα αποθήκευσης τηγμένου άλατος

Εικόνα:Σύστημα αποθήκευσης με σκυρόδεμα

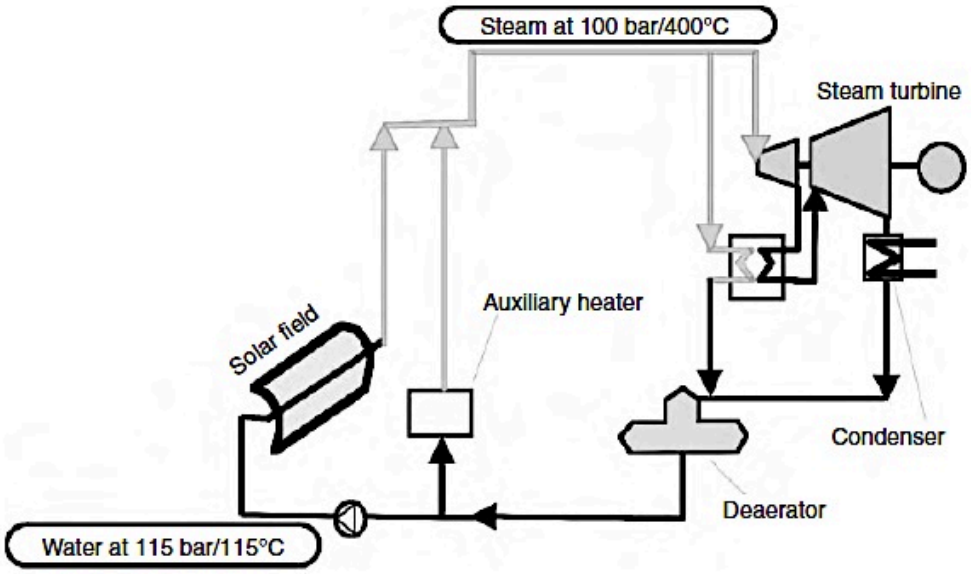
2.9 Άμεση παραγωγή ατμού(DSG)

Όλες οι μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας με PTC που εφαρμόστηκαν μέχρι σήμερα ακολουθούν το γενικό σύστημα που απεικονίζεται στο προηγούμενο σχήμα , με μικρές μόνο διαφορές. Η τεχνολογία των σταθμών αυτών έχει βελτιωθεί μετά την εφαρμογή από την πρώτη εμπορική μονάδα το 1984.

Ωστόσο κάποιες περαιτέρω βελτιώσεις θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη μείωση του κόστους και αύξηση της αποδοτικότητας. Ο βασικός περιορισμός για την τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς τους είναι η ίδια η τεχνολογία:

- η χρήση του ελαίου ως μέσο μεταφοράς θερμότητας μεταξύ το ηλιακού πεδίου που συνεπάγεται υψηλή πτώση πίεσης στο κύκλωμα του ελαίου
- ο περιορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου Rankine και
- το λειτουργικό κόστος του ελαίου που συνδέται με τον εξοπλισμό.

Εάν ο υπέρθερμος ατμός που απαιτείται παραγόταν απευθείας στο δέκτη του PTC (δηλαδή, DSG), το λάδι δεν θα είναι πλέον αναγκαίο και οι περιορισμοί της θερμοκρασίας και οι περιβαλλοντικοί κινδυνοι που συνδέονται με το έλαιο θα μπορούσαν να αποφευχθούν. Το Σχήμα (20) παρακάτω δείχνει τη γενική οικονομία του κυλινδροπαραβολικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με DSG στο ηλιακό πεδιο. Η απλοποίηση της συνολικής διαμόρφωσης των εγκαταστάσεων είναι εμφανής κατά τη σύγκριση με τα προηγούμενα σχημάτα.



Σχήμα 20: Απλοποιημένο σχήμα παραβολικού κοίλου

Το DSG διαθέτει τεχνικά πλεονεκτήματα που πρέπει να εξεταστούν:
- Κανένας κίνδυνος ρύπανσης ή πυρκαγιάς λόγω της χρήσης θερμικού ελαίου σε θερμοκρασίες γύρω στους 400°C

-Δίνεται πλεον η ευκαιρία να αυξηθεί η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου Rankine πάνω από 400°C, που ναι το όριο που επιβάλλεται από το θερμικό έλαιο που χρησιμοποιείται σήμερα

- Μείωση του μεγέθους του ηλιακού πεδίου, μειώνοντας έτσι το κόστος της επένδυσης

-Μείωση των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης,, καθώς τα συστήματα ελαίου απαιτούν ορισμένο ποσό του αποθέματος ελαίου να αλλάζει κάθε χρόνο, καθώς και του αντιψυκτικού όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από 14°C.

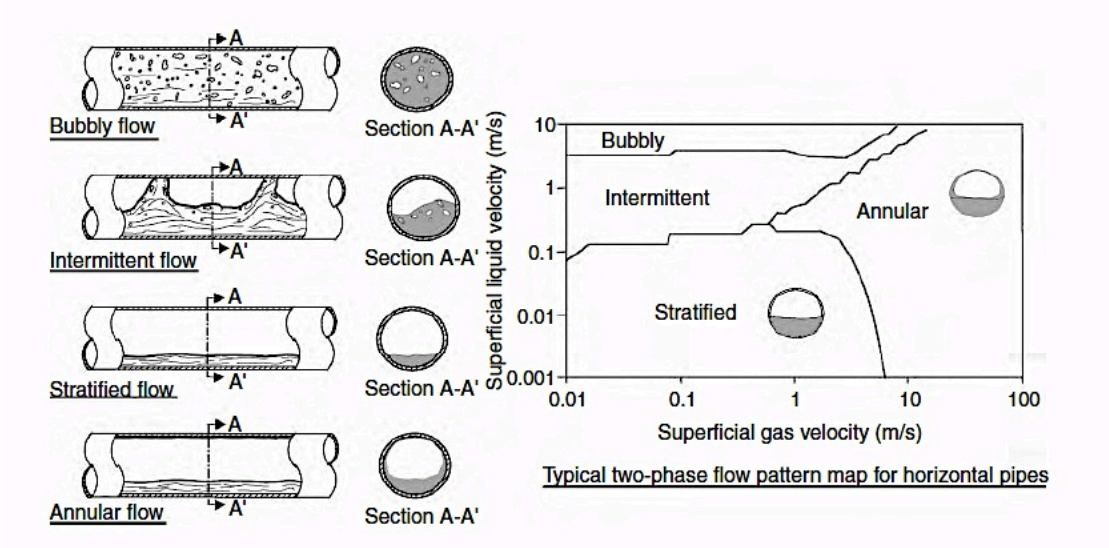
Ωστόσο, το DSG παρουσιάζει ορισμένες προκλήσεις για να βελτιωθεί η σημερινή τεχνολογία των παραβολικών κοίλων ηλιακής ενέργειας, λόγω της διφασικής ροής (υγρό+ατμός) που υπάρχει στους αποροφητικούς σωλήνες του ηλιακού πεδίου στο τμήμα εξάτμισης . Η ύπαρξη αυτής της διφασικής ροής έχει μερικά σημεία που πρέπει να βελτιωθούν για να χρησιμοποιηθούν εμπορικά.

Αυτά είναι:

- έλεγχος του ηλιακού πεδίου
- σταθερότητα της διαδικασίας
- πίεση στους σωλήνες δέκτη
- αντιμετώπιση των μεγαλύτερων απώλειων ατμού (διαρροές) από ότι τα συστήματα ελαίου

Το σχήμα (21) παρουσιάζει τα πρότυπα τυπικής διφασικής ροής σε οριζόντιο σωλήνα. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα , τέσσερα κύρια πρότυπα ροής είναι εφικτά , ανάλογα με τις ταχύτητες του ρευστου στην επιφάνεια και τις φάσεις ατμού :αφρώδη(bubbly), διακεκομμένη ροή (intermittent), στρωματοποιημένη (stratified) και δακτυλιοειδής (annular). Τα σύνορα μεταξύ γειτονικών ροών δεν είναι τόσο καλά καθορισμένα όπως φαίνονται στο σχήμα αλλά μάλλον χωρίζονται από μεταβατικές ζώνες.

Στην αφρώδη και την διακεκομμένη ροή, το τοίχωμα του σωλήνα απορροφησης είναι καλά βρεγμένο, αποφεύγοντας έτσι επικίνδυνες μεταβολές θερμοκρασίας ανάμεσα στο κάτω μέρος και στην κορυφή του σωλήνα, όταν θερμαίνεται από την μια πλευρά. Το αποτέλεσμα είναι ένας καλός συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας σε όλη τη διαδρομή γύρω από τον αγωγό, επειδή η υγρή φάση δεν είναι στρωματοποιημένη.

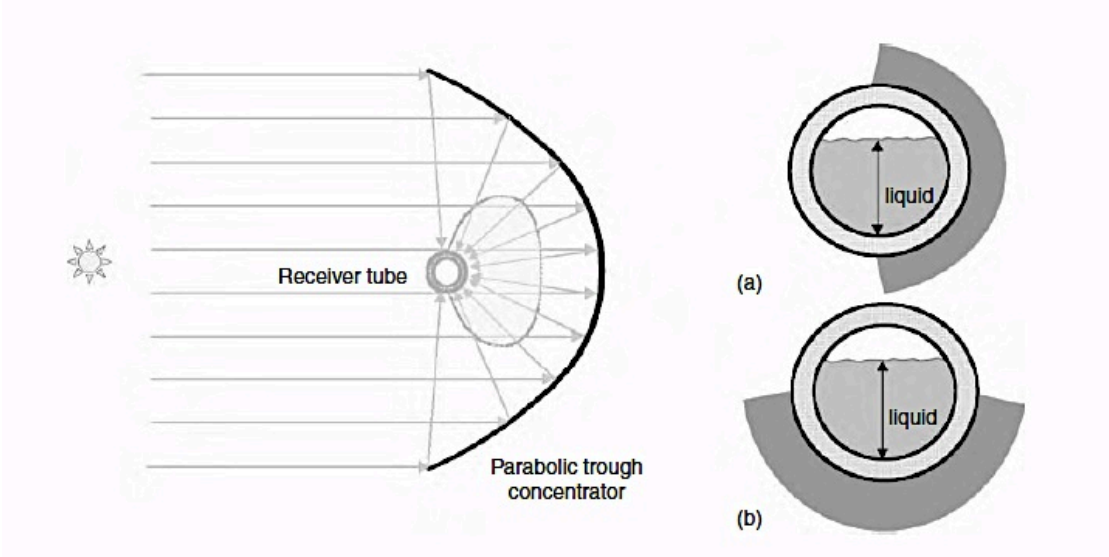


Σχήμα21: Διφασική ροή και τυπική ροή για οριζόντιους συλλέκτες.

Στην στρωματοποιημένη ροή , το υγρό νερό είναι στο κάτω μέρος του σωλήνα απορρόφησης, ενώ ο ατμός παραμένει πάνω από την επιφάνεια του νερού με αποτέλεσμα μια ανομοιογενή μεταφορά θερμότητας στον σωληνα.Η ενυδάτωση του πυθμένα του σωλήνα εξακολουθεί να είναι πολύ καλή και έτσι είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.

Όμως η επίδραση ψύξης του ατμού είναι φτωχότερη και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο επάνω τμήμα του σωλήνα απορρόφησης μπορεί να είναι πολύ χαμηλός, με αποτέλεσμα μια μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας άνω των 100°C μεταξύ του κατω και του πάνου μέρους του σωλήνα σε μια δεδομένη διατομή, όταν θερμαίνεται από τη μία πλευρά. Η θερμική καταπόνηση και η κύρτωση που οφαίλεται στην απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να καταστρέψει τον αγωγό. Το σχήμα (22) δείχνει τι συμβαίνει στην διατομή του χαλυβένιου σωλήνα απορρόφησης, όταν θερμαίνεται από κάτω (Σχήμα (22b), το PTC κοιτάζει προς τα πάνω) και από τη μία πλευρά (σχημα (22a),το PTC κοιτάζει στον ορίζοντα). Η εικόνα δείχνει σαφώς πως η στρωματοποιημένη ροή μπορεί να προκαλέσει απότομες κλίσεις της θερμοκρασίας μόνο όταν το κανονικό επίπεδο του ανοίγματος του συγκεντρωτή είναι σχεδόν οριζόντιο (σχήμα 22a).

Στην δακτυλιοειδή ροή , αν και υπάρχει μερική διαστρωμάτωση του νερού στο κάτω μέρος του σωλήνα, υπάρχει μια λεπτή μεμβράνη του νερού που υδατώνει το πάνω μέρος του σωλήνα. Αυτή η ταινία είναι αρκετή για να εξασφαλίσει ένα καλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητος σε όλη τη διαδρομή γύρω από τον αγωγό, αποφεύγοντας έτσι επικίνδυνες θερμικές κλίσεις που θα μπορούσαν να τον καταστρέψουν.



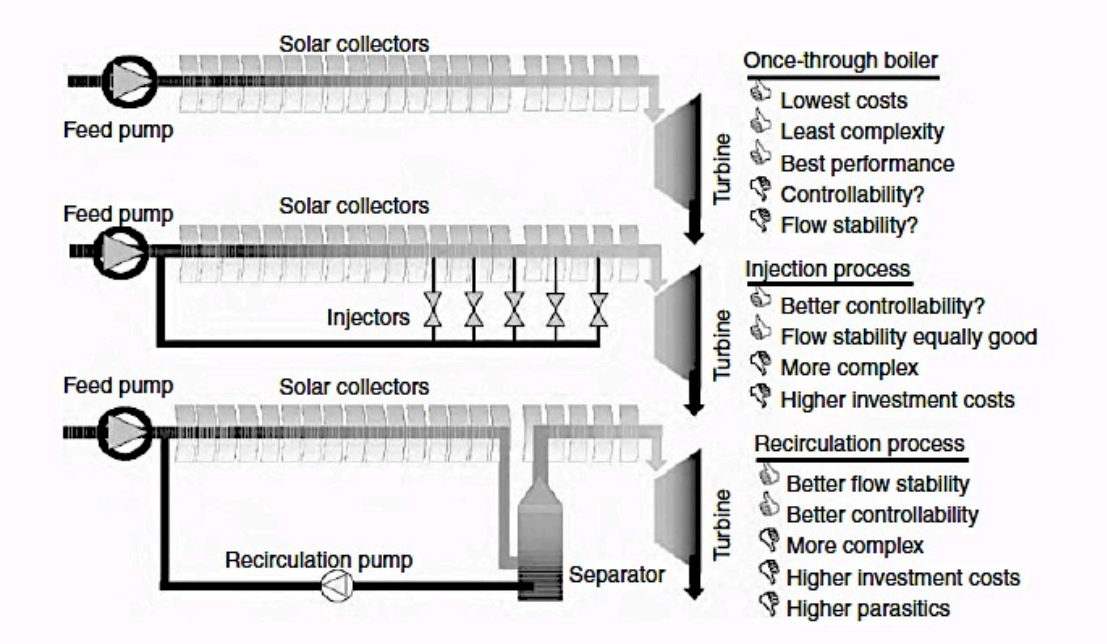
Σχήμα 22: Ροή διαστρωμάτωσης και συμπυκνωμένη προσπίπτουσα ηλιακή ροή στο σωλήνα-δέκτη.

Ωστόσο αυτά τα τεχνικά προβλήματα μπορουν να αποφευχθούν. Υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες, η εισόδου-εξόδου(once-through) ,η εκχυση και η ανακυκλοφορία, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μην συμβαίνουν επικίνδυνες αποκλίσεις θερμοκρασίας στους δέκτες. Αυτές οι τρεις επιλογές απαιτούν ένα ηλιακό πεδίο που αποτελείται από μεγάλες σειρές από PTC συνδεδεμένα σε σειρά για την εκτέλεση της πλήρους διαδικασίας DSG: προθέρμανση νερού , εξάτμιση, και υπερθέρμανση ατμού. Το σχήμα 23 συνοψίζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τις τρεις βασικές επιλογές DSG.

-Στην διαδικασιία εισόδου-εξοδου, η διαστρωμάτωση μπορεί να αποφευχθεί με τη διατήρηση μεγάλης μάζας υδάτινης ροής σε όλους τους σωλήνες του απορροφητήρα. Όλο το νερό εισάγεται στις εισόδους του συλλέκτη και μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό, καθώς κυκλοφορεί στην γραμμή συλλέκτη.

-Κατά τη διαδικασία της εκχυσης, μικρά κλάσματα νερού εκχύονται κατά μήκος της γραμμής συλλέκτη. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η καλή δυνατότητα ελέγχου των παραμέτρων του υπέρθερμου ατμού.Από την άλλη πλευρά, αυτό κάνει το σύστημα πιο πολύπλοκο και αυξάνει το κόστος του.

-Η τρίτη επιλογή, η λεγόμενη διαδικασία της ανακύκλωσης, είναι η πιο συντηρητική. Στην περίπτωση αυτή, ένας διαχωριστής ατμού και νερού τοποθετείται στο τέλος της εξάτμισης του συλλέκτη. Το νερό εισέρχεται στο ηλιακό πεδίο με ένα υψηλότερο ποσοστό από ό,τι η ροή του ατμού που παράγεται από το σύστημα.



Σχήμα 23:Οι τρείς βασικές διαδικασίες DSG.

Μόνο ένα μέρος αυτού του νερού μετατρέπεται σε ατμό καθώς κυκλοφορεί μέσα από τους συλλέκτες του προθερμαντηρα και της εξάτμισης. Στο τέλος της εξάτμισης ,ο κορεσμένος ατμός χωρίζεται από το υγρό νερό με τον διαχωριστή, και αυτό το υπόλοιπο υγρό νερό στη συνέχεια επανεισάγεται στο ηλιακό πεδίο από μια αντλία ανακύκλωσης.Αρκετά μεγαλη ελεγξιμότητα είναι το κύριο πλεονέκτημα της επιλογής αυτήςτων DSG , αλλά η ανάγκη για μια αντλία ανακύκλωσης και η υπερβολική χρήση νερού που πρέπει να ανακυκλώνεται από το διαχωριστικό νερού/ατμού στο ηλιακό πεδίο , μειώνει συνολική απόδοση.

2.10 Τα συγκροτήματα παραβολικών κοίλων SEGS

Από εμπορική άποψη, τα PTC είναι η πιο επιτυχημένη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή θερμική ενέργεια. Οκτώ εμπορικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με PTC ήταν σε λειτουργία το 2005.

Αυτά τα συγκροτήματα, τα ονομαζόμενα SEGS (ηλιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), II εως IX, που χρησιμοποιούσαν έλαιο σαν θερμικό υγρό (HTF τεχνολογία), είχαν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί από την LUZ ,International Limited Company από το 1985 - 1990.

Όλες οι εγκαταστάσεις SEGS βρίσκονται στην έρημο Mojave, βορειοδυτικά του Λος Άντζελες (Καλιφόρνια, ΗΠΑ). Με την καθημερινή λειτουργία τους και με πάνω από 2.200.000 m^2 σε PTC, οι εγκαταστάσεις SEGS είναι το καλύτερο παράδειγμα εμπορικής ωριμότητας και αξιοπιστίας των PTC. Η διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεών τους είναι πάνω από 98% και η ηλιακή-σε-ηλεκτρική ετήσια απόδοση τους είναι της τάξης του 14-18%, με μέγιστη απόδοση του 22%. Αν και έχουν υλοποιηθεί εννέα SEGS από την LUZ το πρώτο SEGS καταστράφηκε από πυρκαγιά το Φεβρουάριο του 1999 (Πίνακας 3).

Η διαμόρφωση των SEGS αναβαθμίστηκε από την LUZ έτσι ώστε να επιτευχθούν ολοένα και υψηλότερες αποδόσεις με το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, οπότε το μόνο συγκρότημα με θερμικό σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας ήταν το SEGS I, το οποίο είχε δύο δεξαμενές αποθήκευσης ελαίου.Η LUZ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το βοηθητικό αέριο θέρμανσης έπρεπε να εφαρμοστεί στο κύκλωμα του ελαίου, επειδή οι διαδικασίες λειτουργίας των εγκαταστάσεων ήταν πιο δύσκολες με το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης εγκατεστημένο στο κύκλωμα νερού/ατμού.

Πίνακας 3:Συστήματα SEGS από την LUZ

Plant	Net Capacity (MW_e)	Location	Inauguration
SEGS I	14	Dagget, CA	1984
SEGS II	30	Dagget, CA	1985
SEGS III	30	Kramer Jn, CA	1986
SEGS IV	30	Kramer Jn, CA	1986
SEGS V	30	Kramer Jn, CA	1987
SEGS VI	30	Kramer Jn, CA	1988
SEGS VII	30	Kramer Jn, CA	1988
SEGS VIII	80	Harper Lake, CA	1989
SEGS IX	80	Harper Lake, CA	1990

Η έρευνα της LUZ ,ο σχεδιασμός της ανάπτυξης και η βελτίωση των συνιστωσών της ηλιακής ενέργειας του συλλέκτη, οδήγησε σε μείωση του κόστους του ηλιακού πεδίου ανά τετραγωνικό μέτρο περίπου 75% σε σχέση με το πρώτο SEGS ενώ η αποδοτικότητα αυξήθηκε κατά 8% (Πίνακας 4) Το σχήμα 24 δείχνει μια πανοραμική θέα των SEGS III και IV. Η διάταξη που επιλέχτηκε απο την LUZ για τα ηλιακά πεδία είναι η λεγόμενη κεντρική, επειδή επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και το πλύσιμο συντήρησης σε όλες τις σειρές συλλέκτη. Το κτίριο του μπλοκ ισχύος (γεννήτρια ατμού, ατμοστρόβιλος, γεννήτρια, συμπυκνωτής, κλπ.) βρίσκεται στο κέντρο του συλλέκτη.

Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά των SEGS I–IX

	SEGS 1	SEGS 2	SEGS 3	SEGS 4	SEGS 5	SEGS 6	SEGS 7	SEGS 8	SEGS 9
Starting-up:	Dec'84	Dec'85	Dec'86	Dec'86	Oct'87	Dec'88	Dec'88	Dec'89	Sep'90
Investment (M$)	62	96	101	104	122	116	117	231	
Electricity yearly production (MWh)	30,100	80,500	92,780	92,780	91,820	90,850	92,646	2,52,750	2,56,125
Estimated life (years)	20	25	30	30	30	30	30	30	30
Number of stages of the turbine	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Solar steam (P,T) (bar,C):	248/38	300/27	327/43.4	327/43.4	327/43.4	371/100	371/100	371/104	371/104
Steam with gas (P,T) (bar,C)	417/37	510/104	510/104	510/104	510/100	510/100	510/100	371/104	371/104
Efficiency in solar mode (%)	31.50	29.40	30.60	30.60	37.70	37.50	37.50	37.60	37.60
Efficiency with gas (%)	—	37.30	37.40	37.40	37.40	39.50	39.50	37.60	37.60
Solar field									
Collector type	LS1/LS2	LS1/LS2	LS2	LS2	LS2	LS2	LS3	LS3	LS3
Aperture area (m^2)	82,960	1,88,990	2,30,300	2,30,300	2,33,120	1,88,000	1,94,280	4,64,340	4,83,960
Working temperature	279	321	349	349	349	390	390	390	390
Inlet/outlet collector field temperature[2]	241/307	248/320	248/349	248/349	248/349	293/393	293/390	293/390	293/390
Type of oil	ESSO 500	M-VP1	M-VP1	M-VP1	M-VP1	M-VP1	M-VP1	M-VP1	M-VP1
Oil volume (m^3)	3217	379	403	404	461	372	350		

Σχήμα 24:Πανοραμική θέα των SEGS III and IV

Το εργοστάσιο SEGS IX ,που τέθηκε σε λειτουργία το 1990, ήταν το τελευταίο της LUZ πριν από την πτώχευσή της το 1991. Οι εγκαταστάσεις SEGS VIII και IX (βλ. Σχήμα στην ενότητα του τηκομένου άλατος), δεν είχαν αναθερμαντήρα ατμού με φυσικό αέριο και ο ατμός της τουρμπίνας είχε δύο στάδια λειτουργίας ατμού στους 371°C/104 bar και 371°C/17, bar αντίστοιχα. Το θερμικό λάδι θερμαινόταν στους ηλιακούς συλλέκτες μέχρι θερμοκρασίας περίπου 390°C, και χωρίζονταν σε δύο παράλληλα κυκλώματα, την γεννήτρια ατμού και τον αναθερμαντήρα. Στο κύκλωμα παραγωγής ατμού, το έλαιο περνούσε μέσα από ένα υπερθερμαντή ατμού ,τον βραστήρα, και τον προθερμαντήρα, παράγοντας ατμό στους 371°C και 104 bar. Ο ατμός επεκτείνονταν στο πρώτο στάδιο της τουρμπίνας, περνώντας σε ένα θερμικό αναθερμαντήρα που τροφοδοτούταν από το άλλο κύκλωμα του ελαίου, αναθερμαίνοντας ατμό στους 371°C και 17 bar. Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου, ο βοηθητικός λέβητας του αερίου τίθονταν σε λειτουργία για την διατήρηση της λειτουργίας του στροβίλου υπό συνθήκες πλήρους φορτίου κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Για το υπόλοιπο του χρόνου, ο ατμός της τουρμπίνας οδηγούνταν κυρίως από το ηλιακό σύστημα μόνο. Η ηλεκτρική γεννήτρια ψύχονταν από αέρα και νερό, σε ονομαστική τριφασική ισχύ 108 MVA, 13,8 kV, στα 60 Hz και 3600 rpm.

Οι βιομηχανίες LUZ έχουν αναπτύξει τρεις γενιές PTC, τις λεγόμενες LS-1, LS-2, και LS-3 (Πίνακας 5).Τα LS-1 και LS-2 είναι παρόμοια. Οι κυριότερες διαφορές τους είναι οι συνολικές διαστάσεις τους .Τα παραβολικά κάτοπτρα είναι υαλοπίνακες απλά βιδωμένες στα ελικοειδή πλαίσια χαλυβδοσωλήνων που παρέχουν στην συναρμολόγηση την απαιτούμενη ακεραιότητα και την διαρθρωτική ακαμψία.

Οι συλλέκτες LS-3 είναι δύο φορές μεγαλύτεροι απο τους αντίστοιχους των LS-2, με την επιφάνεια του ανοίγματος 14% μεγαλύτερη, η οποία μειώνει την τον αριθμό των ευέλικτων συνδέσεων, τις τοπικές μονάδες ελέγχου,τους αισθητήρες θερμοκρασίας,τις υδραυλικές μονάδεςενώ έχουν παρόμοιο εξοπλισμό περισσότερο από το μισό. Ωστόσο, η σχεδίαση των LS-3 αποτελεί μια αλλαγή στη φιλοσοφία συλλέκτη,περισσότερο από μια αλλαγή στην κλίμακα. Αν και τα μηχανικά μέρη του μοντέλου LS-2 έχουν σχεδιαστεί με μεγάλες ανοχές και συναρμολογούνται επιτόπου για να επιτευχθεί η απαιτούμενη οπτική συμπεριφορά, το LS-3 αποτελείται από ένα κεντρικό πλαίσιο χώρου χάλυβα που συναρμολογείται στο εργοτάξιο με οδηγίες ακρίβειας. Το αποτέλεσμα αυτής της καινοτομίας είναι ελαφρύτερη και πιο ανθεκτικιά δομή, με εξαιρετικά ακριβή λειτουργία σε σφοδρούς ανέμους.

Πίνακας 5:Χαρακτηριστικά των συλεκτών LS-1,LS-2 και LS-3

	LS-1	LS-2	LS-3
Solar tracking accuracy (°)	0.10	0.10	0.10
Maximum wind velocity to operate (km/h)	56	56	56
Steel structure based on	Steel tube	Steel tube	Space frame
Selective coating of absorber tubes	Black Cr	Black Cr	Cermet
Absorptivity/transmissivity (%)	94/94	94/95	96/95
Emissivity (%)	39 (300°C)	24 (300°C)	18 (350°C)
Focal distance of the solar concentrator	0.68	1.49	1.71
Aperture angle	85	80	80
Reflectivity (%)	94	94	94
Trough aperture (m)	2.5	5	5.76
Absorber steel pipe outer diameter (mm)	42	70	70
Geometric concentration	19	23	26
Overall length (m)	50.2	47.1	99.0
Distance between supports (m)	6.3	8.0	12.0
Mirrors surface per collector (m^2)	128	235	545
Maximum working temperature (°C)	307	350	390
Distance between parallel rows (m)	7	12.5/15	17
Intercept factor (%)	87	89	93

Το LS-3 υδραυλικό σύστημα παρέχει διπλάσια ροπή από εκείνη που παρέχεται από τους LS-2 συλλέκτες: 7400 kgm(max) για τις εσωτερικές γραμμές συλλέκτη, και υψηλότερη στις εξωτερικές γραμμές.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα SEGS πωλείται στην τοπική κατανάλωση,στο πλαίσιο μεμονωμένων 30- χρονων συμβάσεων. Για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας αυτών των μονάδων, είναι απαραίτητο να παράγουν τη μέγιστη δυνατή ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης, όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι στο υψηλότερο σημείο. Λέβητες αερίου λειτουργούν για το σκοπό αυτό, είτε να συμπληρώσουν το ηλιακό πεδίο ή να το κάνουν μόνοι τους. Παρ 'όλα αυτά, η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου περιορίζεται από την πολιτεία των ΗΠΑ στο 25% της συνολικής ετήσιας παραγωγής.

Παρά τα περιβαλλοντικά οφέλη τους, υπάρχουν μερικά εμπόδια για την εμπορική χρήση αυτής της τεχνολογίας. Τα κύρια εμπόδια που προς το παρόν είναι:

- το υψηλό κόστος επένδυσης και

-το ελάχιστο μέγεθος του μπλοκ ισχύος που απαιτούνται για την υψηλή θερμοδυναμική απόδοση.

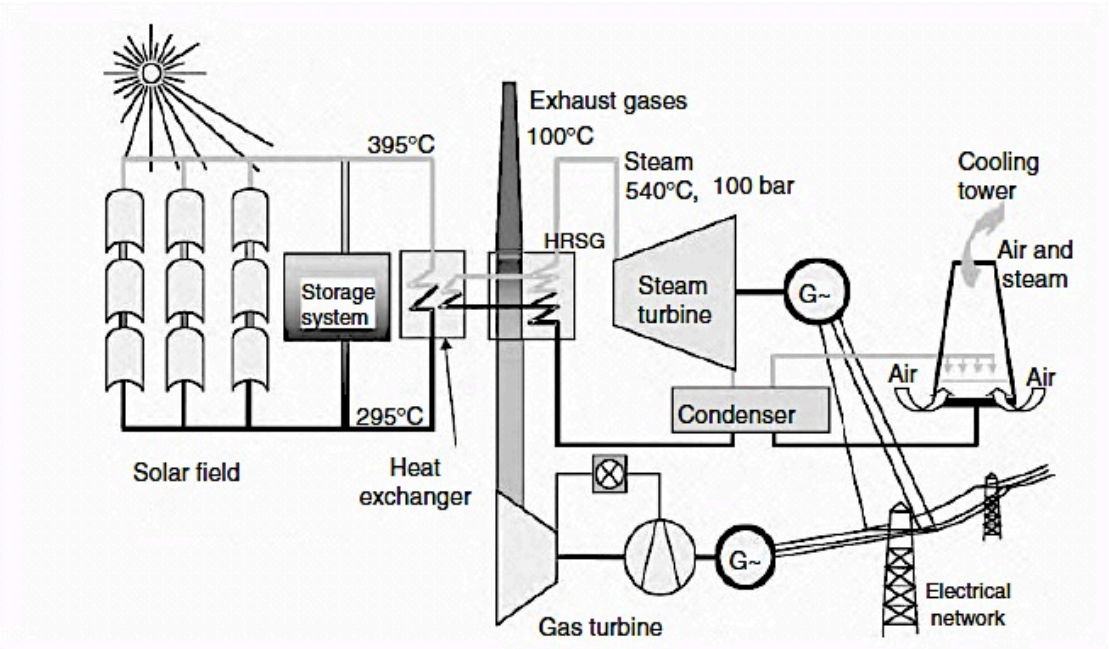
Ωστόσο, αυτά τα εμπόδια είναι κοινά για όλες τις τεχνολογίες ηλιακής θερμικής ενέργειας.Η τεχνολογία των εμπορικών διαθέσιμων , προς το παρόν, κυλινδροπαραβολικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι η HTF τεχνολογία που χρησιμοποιεί το έλαιο ως μεταφορέα θερμότητας.Προς το παρόν , υπάρχουν τρείς εμπορικοί συλέκτες PTC:

-τύπου LS-3 .που ανήκει στην Ισραιλινη εταιρία SOLEL

- το EuroTrough που ανήκει στην Κοινοπραξία EuroTrough

- η αμερικανική Solargenix, η οποία κατασκευάζει με αλουμίνιο.Ωστόσο, και άλλοι συλλέκτες υπό ανάπτυξη αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμα στο επόμενο διάστημα.

Επί του παρόντος, υπάρχουν αρκετές πρωτοβουλίες με μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας με PTC που χρησιμοποιούν την τεχνολογία HTF όπως το ολοκληρωμένο ηλιακό σύστημα συνδυασμένου κύκλου (ISCCS) που ενσωματώνει ενα PTC στο συνδυασμένο κύκλο του.Αν και η συνεισφορά του ηλιακού συστήματος στην συνολική ισχύ είναι μικρή (περίπου10-15%) το ISCCS, φαίνεται να είναι μια καλή προσέγγιση για την διείσδυση του PTC στην αγορά σε ορισμένες χώρες, όπως η Ινδία, η Αίγυπτος, το Μαρόκο και το Μεξικό.Το Σχήμα 25 δείχνει το διάγραμμα μιας τυπικής εγκατάστασης ISCCS.



Σχήμα 25: Εγκατάσταση ISCCS.

Υπάρχουν, επίσης, σχέδια από κυλινδροπαραβολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής παρόμοια με τα SEGS, στις ΗΠΑ και την Ισπανία. Το πιο ώριμο έργο είναι στην Ισπανία και είναι το εργοστάσιο AndaSol με μια SEGS-τύπου εγκατάσταση και ένα 6-h θερμικό σύστημα αποθήκευσης τηγμένου άλατος. Οι μελέτες που διεξήχθησαν τα τελευταία χρόνια έχουν επισημάνει την πιθανότητα να επιτευχθεί σημαντική ενδιάμεση μείωση του κόστους της τεχνολογίας στα PTC .Η μαζική παραγωγή και η βελτίωση από την έρευνα θα μπορούσε να οδηγήσει σε κόστος ηλεκτρικής ενέργειας $ 0.10/kWh για 100 MW_e

σταθμούς και $ 0.05/kWh για προχωρημένους σταθμούς δυναμικότητας 200 MW_e.

Επομένως η PTC τεχνολογία πρέπει να αναζητήσει τρόπους για να γίνει πιο ανταγωνιστική με τις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Εντός των πιθανών βελτιώσεων για τη μείωση του κόστους, τα DSG υψηλής πίεσης- υψηλής θερμοκρασίας φαίνεται να είναι ο πλέον ελπιδοφόρος τρόπος για την επίτευξη αυτού του στόχου, λόγω μη ύπαρξης του θερμικού ελαίου.

Αρκετά έργα έρευνας έχουν αναπτυχθεί στην Ευρώπη για τη διερεύνηση της τεχνολογίας DSG κάτω από πραγματικές ηλιακές συνθήκες. Η τεχνική εφικτότητα της διαδικασίας DSG έχει αποδειχθεί πρακτικά στο σχέδιο DISS ενώ τα συστατικά του DSG έχουν βελτιστοποιηθεί στο έργο της INDITEP ,η οποία ανέλαβε επίσης τον λεπτομερή σχεδιασμό του πρώτου προ εμπορικού (5MW_e)εργοστάσιου DSG. Όταν αυτό ο μικρός σταθμός DSG τεθεί σε λειτουργία και οι ερευνητικές διαδικασίες βελτιωθούν , τοτε αυτη η τεχνολογία πιθανόν να καταστεί το καλύτερο στοίχημα για τα εμπορικά διαθέσιμα PTC χαμηλού κόστους.

3.Συστήματα ηλιακού πύργου ισχύος(CRS)

3.1Γενικά

Οι ηλιακοί πύργοι με μεγάλα πεδία ηλιοστατών και ηλιακους δέκτες που βρίσκονται στην κορυφή ενός πύργου είναι πλέον σε θέση για την ανάπτυξη της πρώτης γενιάς στο εμπόριο. Η δύναμη των εργοστασίων CRS μπορεί να θεωρηθεί ως αρκούντως ώριμη μετά την πρωτοποριακή εμπειρία πολλών 0,5-10MW πιλοτικών μονάδων στις αρχές του 1980, καθώς και η επακόλουθη βελτίωση των βασικών συστατικών όπως οι ηλιοστάτες και οι ηλιακοί δέκτες σε πολλά μεταγενέστερα έργα κατά τα τελευταία 20 χρόνια. Οι ηλιακές-μόνο εγκαταστάσεις , όπως η Solar Tres και Planta Solar 10(PS10) και οι υβριδικές διαμορφώσεις όπως η Solgas, η ConSolar και η SOLGATE παρείχαν ενναλακτικές λύσεις που οδήγησαν στις πρώτες ενισχυμένες μονάδες για την περίοδο 2005-2010. Τα μικρά έργα 10-15 MW, ακόμα μη βελτιστοποιημένα, παρουσιάζουν ήδη μια δραματική μείωση του κόστους σε σχέση με τις προηγούμενες εκτιμήσεις και ανοίγουν τον δρόμο για ένα ρεαλιστικό ορόσημο των $ 0.08/kWh μέχρι το 2015. Στους πύργους ηλεκτρικής ενέργειας, οι διερχόμενες ακτίνες του ήλιου παρακολουθούνται από μεγάλα κάτοπτρα συλλεκτών (ηλιοστάτες), που συγκεντρώνουν τη ροή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολιίας σε εναλλάκτες θερμότητας που ονομάζονται ηλιακοί δέκτες , όπου η ενέργεια μεταφέρεται σε ένα θερμικό υγρό. Μετά τη συλλογή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα , η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό είναι αρκετά παρόμοια με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ορυκών καυσίμων όπως στο προαναφερόμενο σύστημα παραβολικών κοίλων . Στους πύργους ηλεκτρικής ενέργειας ή CRS ο δέκτης τοποθετείται στην κορυφή ενός πύργου και το ηλιακό φως συγκεντρώνεται μέσω ενός μεγάλου παραβολοειδούς που διακριτοποιείται σε ένα πεδίο ηλιοστατών (Σχήμα 26).

Το CRS έχει μεγάλες δυνατότητες για την μείωση του κόστους της ενδιάμεσης παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας αφού υπάρχουν πολλά ενδιάμεσα βήματα από την ένταξή τους σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine έως τους υψηλότερους κύκλους εξέργειας χρησιμοποιώντας τουρμπίνες αερίου, σε θερμοκρασίες πάνω από 1300 °C , οδηγώντας σε υψηλότερες αποδόσεις. Ο οπτικός συντελεστής συγκέντρωσης κυμαίνεται από 200 έως 1000. Η υψηλή διερχόμενη ηλιακή ροή στο δέκτη (κατά μέσο όρο μεταξύ 300 και 1000 kWm^{-2}) καθίστα την λειτουργία σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες έως και 1000°C και ενσωματώνει την θερμική ενέργεια πιο αποτελεσματικά.Το CRS μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε υβριδικές μονάδες σε μια ευρεία ποικιλία επιλογών και έχει τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή ετήσια ικανότητα καθώς χρησιμοποιούνται θερμικές αποθήκες.Με τις αποθήκες τα CRS μπορούν να λειτουργούν πάνω από 4500 ώρες ετησίως σε ονομαστική ισχύ .Τα κύρια χαρακτηριστικά τους συνοψίζονται στον πίνακα 6.

3.2 Περιγραφή Τεχνολογίας

Ένας ηλιακός πύργος αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:
-Το σύστημα συλλεκτών, ή ηλιοστατών που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό διαξονικών μονάδων παρακολούθησης ταξινομημένων σε σειρές

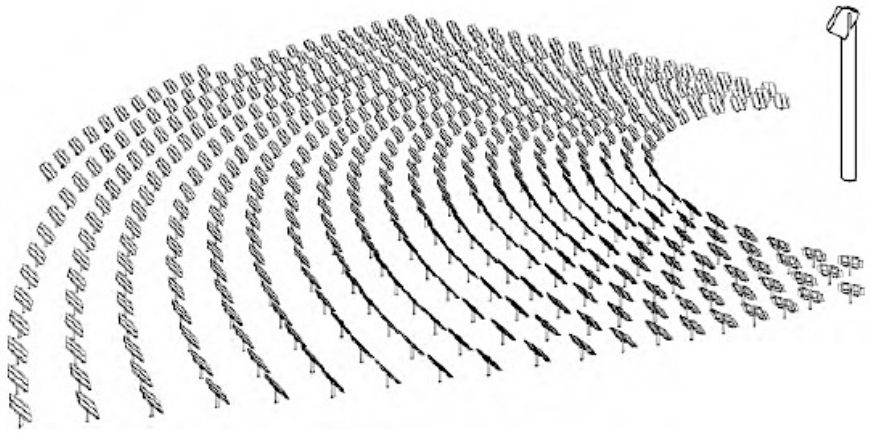
-Τον ηλιακό δέκτη, όπου απορροφάται η συμπυκνωμένη ροή. Είναι το βασικό στοιχείο των εγκαταστάσεων και χρησιμεύει ως διεπαφή μεταξύ του ηλιακού τμήματος του συστήματος και του μπλοκ ισχύος

-Το σύστημα εναλλάκτη θερμότητας, όπου ένα ρευστό μέσο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από τον δέκτη στο στρόβιλο

-Το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας, με το οποίο εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα κατά τη διάρκεια διέλευσης συννέφων και έτσι προσαρμόζεται στις καμπύλες ζήτησης

-Το ορυκτό εφεδρικό καύσιμο για υβριδικά συστήματα για μια πιο σταθερή απόδοση
-Το μπλοκ τροφοδοσίας, συμπεριλαμβανομένης της γεννήτριας ατμού και του εναλλάκτη στροβίλου

-Τον κεντρικό έλεγχο ,το UPS και τα συστήματα αποβολής θερμότητας Μια λεπτομερής περιγραφή και μια ιστορική αναδρομή όλων των υποσυστημάτων θα ήταν υπερβολική, δεδομένου του μεγάλου αριθού των συνθέσεων και των συστατικών που έχουν δοκιμαστεί μέχρι σήμερα. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών τους, τα CRS είναι σε θέση να κάνουν χρήση μιας ποικιλίας



Σχήμα 26: Ηλιοστάτες που συγκεντρώνουν ηλιακές ακτίνες στον δεκτη-πύργο

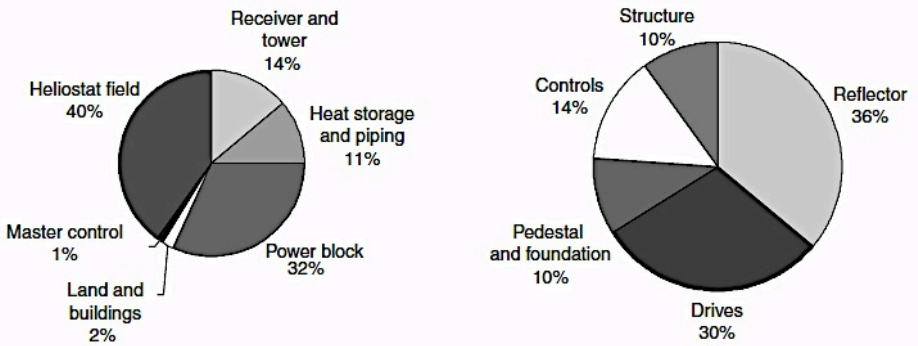
γεωθερμικών ρευστών, όπως αέρας, το νερό/ατμό, λιωμένο νιτρικό αλάτι, νάτριο και υγρά. Σε γενικές γραμμές, τα στοιχεία που επηρεάζουν περισσότερο στο κόστος της επένδυσης είναι ο τομέας του ηλιοστάτη , ο πύργος-δέκτης του συστήματος και το μπλοκ ισχύος.Το πεδίο του ηλιοστάτη είναι ο μοναδικός παράγοντας με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στις επενδύσεις εγκαταστάσεων , όπως φαίνεται στο Σχήμα 27. Ο συλλέκτης και το μπλοκ ισχύος από κοινού αντιπροσωπεύουν περίπου το 72% των επενδύσεων του τυπικού ηλιακού εργοστασίου, εκ των οποίων οι ηλιοστάτες αντιπροσωπεύουν το 60% του ηλιακων μερισμάτων. Ακόμα κι αν ο ηλιακός δέκτης επηρεάζει την επένδυση κεφαλαίου πολύ λιγότερο (περίπου 14%), θεωρείται το πιο κρίσιμο υποσύστημα όσον αφορά τις επιδόσεις, αφού συγκεντρώνει το σύνολο της ροής της ενέργειας ανταλλαγής. Η μεγαλύτερη επένδυση ηλιοστάτη είναι ο

μηχανισμός κίνησης και η επιφάνεια ανάκλασης , τα οποία από μόνα τους αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 70% του συνόλου.

Πίνακας 6: Κύρια χαρακτηριστικά CRS

Typical size	10–200 MW[a]
Operating temperature	
Rankine	565°C
Brayton	800°C
Annual capacity factor	20–77%[a]
Peak efficiency	16–23%[a]
Annual net efficiency	12–20%[a]
Commercial status	Scale-up demonstration (10–30 MW)
Technology development risk	Medium
Storage available	Nitrate salt for molten salt receivers Ceramic bed for air receivers
Hybrid designs	Yes
Investment cost	
$\$\cdot W^{-1}$	4.4–2.5[a]
$\$\cdot W_P^{-1}$[b]	2.4–0.9[a]

[a] Figure indicate expected progress from present to 2030.
[b] $\$/W_p$ removes the effect of energy storage or solar multiple, as in PV.
Source: Adapted From DeMeo, E. A. and Galdo, J. F. 1997. TR-109496 Topical Report. U.S. Department of Energy, Washington, DC.



Σχήμα 27(Αριστερά): Κατανομη επενδυτικών δαπανών για ηλιακό-CRS .Όπως μπορεί να παρατηρηθεί ο τομέας του ηλιοστάτη και του μπλοκ ισχύος επηρεάζουν περισότερο τις επενδύσεις. (Δεξιά) Ανάλυση του κόστους παραγωγής για έναν ηλιοστάτη που κατανέμεται μεταξύ των κύριων συνιστωσών του. Ο ανακλαστήρας και ο μηχανισμός παρακολούθησης είναι σε αυτή την περίπτωση συστατικά που απαιτούν το μεγαλύτερο κεφάλαιο

3.3 Ηλιοστάτες και Τεχνολογία Συλλέκτη

Το πεδίο συλλέκτη αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κατόπτρων παρακολούθησης, που ονομάζονται ηλιοστάτες και ένα σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου για να εστιάζει συνεχώς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή ανοίγματος του δέκτη. Κατά τη διάρκεια διάβασης συννέφου το σύστημα ελέγχου πρέπει να να αποκλίνει το πεδίο ωστε να προληφθούν ζημιές στον δέκτη και στον πύργο.

Τα πεδία των ηλιοστατών χαρακτηρίζονται από εκτός άξονα οπτική τους. Δεδομένου ότι ο ηλιακός δέκτης βρίσκεται σε μια σταθερή θέση, το πεδίο των συλλεκτών πρέπει να παρακολουθεί τον ήλιο κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ηλιοστάτης μεμονωμένα να έχει κάθετη την επιφάνεια του στην διχοτόμο της γωνίας που δημιουργείται από την τομή του ηλίου με τον ηλιακό δέκτη. Το σχήμα 28 δείχνει την μεταβλητότητα των γωνιών ανύψωσης σε ένα πεδίο ηλιοστάτη και προσδιορίζει το γωνία ανύψωσης. Ο γεωμετρικός ορισμός της γωνίας κλίσης n ενός ηλιοστάτη είναι συνάρτηση του ύψους του πύργου, της απόστασής του από τον πύργο και της γωνίας πρόσπτωσης του ήλιου.

Υποθέτοντας ότι Z_s είναι η κατακόρυφη διάσταση του ηλιοστάτη και Z_T είναι το γεωμετρικό ύψος του πύργου πάνω από το έδαφος, το λεγόμενο οπτικό ύψος του πύργου μπορεί να οριστεί ως η ανύψωση του κέντρου της επιφάνειας του ανοίγματος του δέκτη πάνω από το σημείο περιστροφής του ηλιοστάτη :

$$(Z_\tau - Z_s/2)\psi = h + n - 90° \text{ (σε μοίρες)}$$

$$90° - n = \arctan\left[\frac{Z_T - Z_S/2}{x}\right] + \psi \text{ (σε μοίρες)}$$

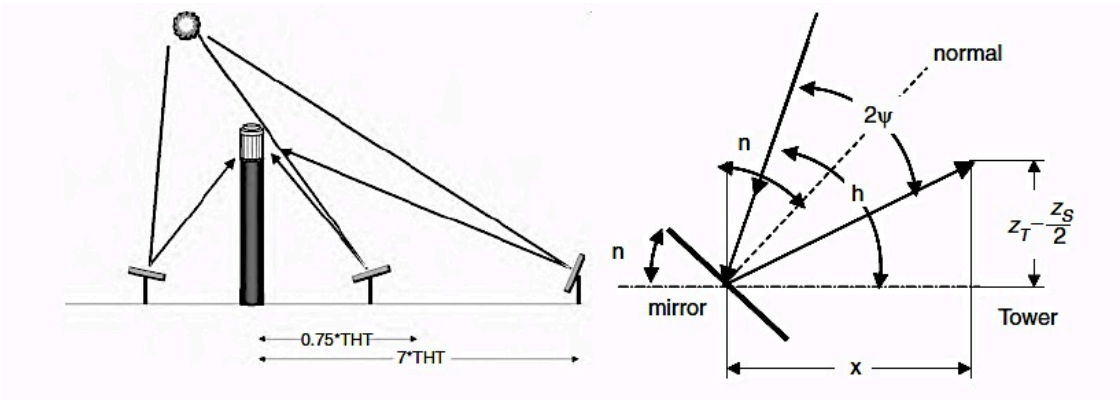
$$n = \left[\frac{180^o - h - \arctan\left[\frac{Z_T - Z_S/2}{X}\right]}{2}\right] \text{(σε μοίρες)}$$

Οι επιδοσεις του ηλιοστάτη περιγράφονται από την οπτική απόδοση, η οποία είναι ίση με την αναλογία της καθαρής ισχύος που συλλαμβάνεται από το δέκτη με το προϊόν της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από το συνολικό εμβαδόν κατόπτρου.
Η οπτική απόδοση περιλαμβάνει την επίπτωση του συνημιτόνου, την σκίαση, το μπλοκάρισμα , την ανακλαστικότητα κατόπτρου ,την ατμοσφαιρική εξασθένηση, και την διαρροή του δέκτη.

Λόγω της μεγάλης περιοχής της γης που απαιτείται, χρησιμοποιήθηκαν πολύπλοκοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης για τη βελτιστοποίηση της ετήσιας ενέργειας που παράγεται από την μονάδα της γης που έδειξαν ότι οι ηλιοστάτες πρέπει να είναι συσκευασμένοι όσο το δυνατόν έτσι ώστε ο δέκτης να είναι

μικρός και η συγκέντρωση υψηλή. Ωστόσο, οι ηλιοστάτες είναι αντανακλαστικά Fresnel τμήματα παρακολούθησης που υπόκεινται σε πολύπλοκους παράγοντες απόδοσης, τα οποία πρέπει να βελτιστοποιηθούν κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας, με την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του συνημιτόνου, της σκίασης ,του μπλοκαρίσματος και της διαρροής του δέκτη. Επειδή η αντανακλαστική επιφάνεια του ηλιοστάτη δεν είναι καθετη στις προσπίπτουσες ακτίνες,η αποτελεσματική περιοχή της μειώνεται κατά το συνημίτονο της γωνίας της πρόσπτωσης ψ.

Το μέσο ετήσιο cosψ ποικίλλει από περίπου 0,9 για ηλιοστάτες που είναι διατεταγμένοι βόρεια του πύργου σε περίπου 0,7 για ηλιοστάτες νότια του πύργου (οι ηλιοστάτες θεωρούνται σε απόσταση διπλάσια από το ύψος του πύργου). Φυσικά, ο μέσος όρος του συνημιτόνου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Συνεπώς, σε μέρη κοντά στον ισημερινό ένα πεδίο που περιβάλλει τον πύργο θα ήταν η καλύτερη επιλογή. Όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος στο βόρειο ημισφαίριο τόσο περισσότερο βελτιώνεται η απόδοση με την τοποθέτηση των ηλιοστατών στη βόρεια πλευρά του πύργου (αντίστοιχα στη νότια πλευρά στο νότιο ημισφαίριο). Οι αντιπροσωπευτικές διατάξεις του πεδίου του συλλέκτη (περιβάλλουσα και βόρεια διάταξη) απεικονίζονται στο σχήμα 29.



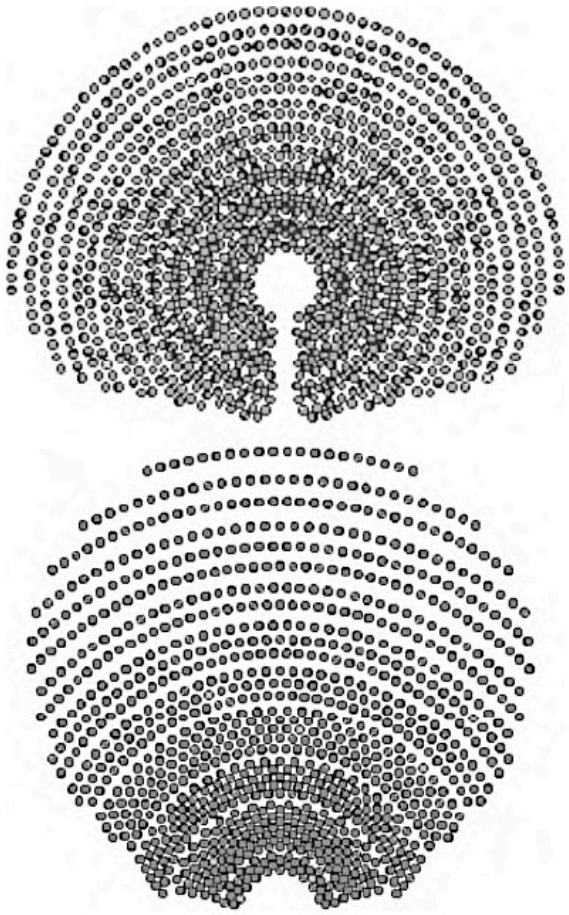
Σχήμα 28: (Αριστερά) Οπτική των ηλιοστατών που εκπροσωπούν διαφορετικές γωνίες κλίσης των κατόπτρων που βρίσκονται σε ένα πεδίο ηλιοστάτη. (Δεξιά) Γεωμετρικός ορισμός της γωνίας ανύψωσης n

Το μπλοκάρισμα των ανακλώμενων ακτίνων είναι επίσης ένας σημαντικός περιορισμός για την διάταξη των ηλιοστάτων. Δηλαδή οι γειτονικοί ηλιοστάτες μπλοκάρουν και παρεμποδίζουν την ομαλή ροή των ανακλώμενων ακτίνων προς το δέκτη. Για να αποφευχθούν οι απώλειες μπλοκαρίσματος, η απόσταση Δx μεταξύ των σειρών των ηλιοστάτων πρέπει να υπολογιστεί σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\Delta x = x \frac{Z_S}{Z_T}$$

Η σκίαση που παράγεται από γειτονικούς ηλιοστάτες πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε χαμηλές γωνίες ήλιου και στο κέντρο του πεδίου , όπου οι συνθήκες μπλοκαρίσματος επιτρέπουν την στενή απόσταση. Οι σκιές κινούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, όπως άλλωστε και ο προσανατολισμός ηλιοστάτη και έτσι δεν υπάρχει ένας απλός κανόνας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που αντικατοπτρίζεται από τους ηλιοστάτες δεν φτάνει ολόκληρη στην περιοχή του δέκτη. Μέρος της ενέργειας διασκορπίζεται και απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται ως ατμοσφαιρική εξασθένηση και αυξάνεται όταν η υγρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή.



Σχήμα 29:Βελτιστοποιημένα πεδία για γεωγραφικό πλάτος ίσο με 36° με διαμορφώσεις «περιβάλοντος πεδίου» (πάνω) και «βόρειου πεδίου» (κάτω)

Η ατμοσφαιρική εξασθένηση εκφράζεται συνήθως ως συνάρτηση ή πειραματική συσχέτιση ανάλογα με το εύρος της κλίσης ηλιοστάτη. Το μέγεθος της εικόνας που σχηματίζεται από κάθε ηλιοστάτη εξαρτάται από την εστίαση του κατόπτρου , από το μέγεθος του ηλιοστάτη καθως και απο τα σφάλματα δλδ από την ποιότητα της δέσμης. Εξαιτίας αυτού , υπάρχει ένα κοινός παράγοντας για σε μια συγκεκριμένη περιοχή του δέκτη.

Ένα μέρος της ενέργειας διαρρέει γύρω από τον δέκτη και παρόλο που η διαρροή μπορεί να εξαλειφθεί από την αύξηση του μεγέθους του δέκτη, σε κάποιο σημείο, η αύξηση του μεγέθους γίνεται αντιπαραγωγική λόγω των αυξημένων ζημιών που προκύπτουν στον δέκτη.

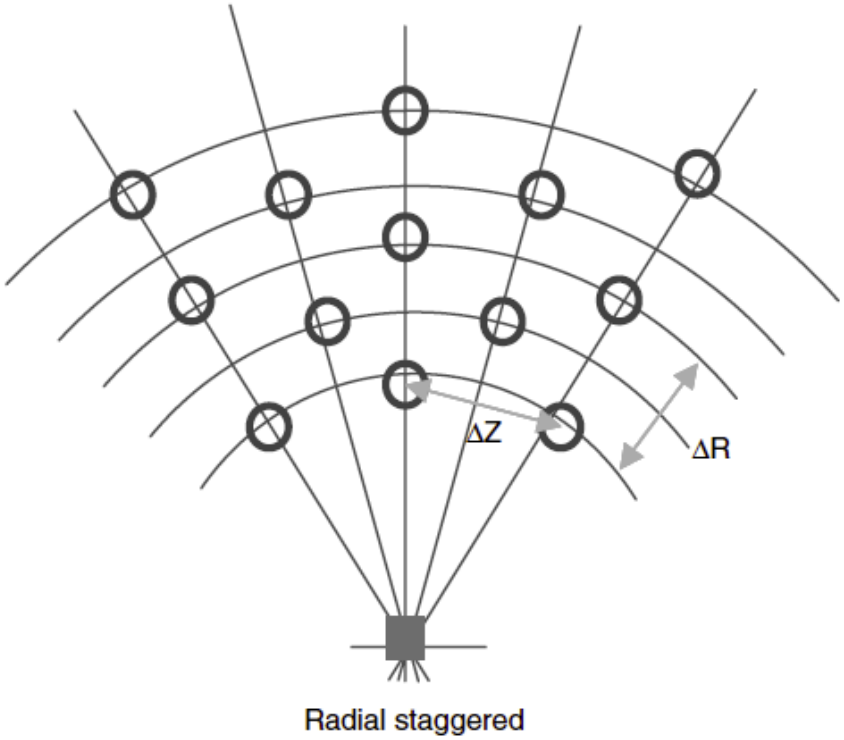
Ο συνδυασμός όλων των προαναφερθέντων παραγόντων που επηρεάζουν τις επιδόσεις του ηλιοστάτη πρέπει να βελτιστοποιηθούν ώστε να προσδιοριστεί μια αποτελεσματική διάταξη. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τη βελτιστοποίηση ώστε να καθοριστεί η ακτινική και η αζιμουθιακή απόσταση ηλιο-

στατών . Ένα από τα πιο κλασικά και αποτελεσματικά είναι το ακτινωτό κλιμακωτό μοντέλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 30, που είχε προταθεί αρχικά από το Πανεπιστήμιο του Χιούστον το 1970 . Ένα τυπικό πεδίο ακτινικής εναλλαγής σε γεωγραφικό πλάτος 35 που χρησιμοποιεί τετράγωνους ηλιοστάτες δίνεται από :

$$\Delta R = \frac{1.009}{\Theta} - 0.063 + 0.4803\Theta$$

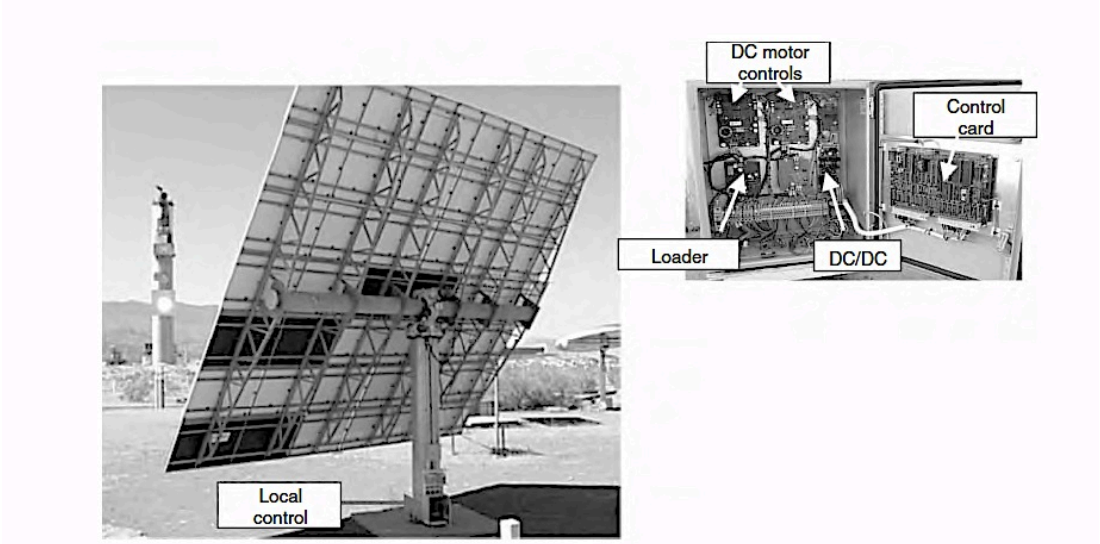
$$\Delta Z = 2.170 - 0.6589\Theta + 1.247\Theta^2$$

$$\Theta = \arctan\left[\frac{Z_T - Z_S/2}{x}\right]$$. (το Θ είναι σε rad)



ΣΧήμα 30: Ακτινωτή διάταξη τομέα, όπου το DZ εκπροσωπεί την αζιμουθιακή απόσταση και το DR αντιπροσωπεύει η ακτινική απόσταση

Ο μηχανισμός κίνησης είναι υπεύθυνος για την ανεξάρτητη αζιμουθιακή και ανυψωτική κίνηση έτσι ώστε η κατοπτρική επιφάνεια να ακολουθεί τη θέση του ήλιου και να αντικατοπτρίζει τη δέσμη πάνω στο εστιακό σημείο. Η αναλογία μεταξύ της γωνίας πρόσπτωσης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας οδηγεί σε διπλασιασμό των γωνιακών σφαλμάτων.Επομένως είναι ζωτικής σημασίας για ένα σύστημα παρακολούθησης να είναι ιδιαίτερα ακριβής.



Εικόνα : Πίσω όψη του ηλιοστάτη COLON SOLAR των 70 m^2 σε σχήμα Τ και σωλήνα ροπής. Στο κάτω μέρος του βάθρου βρίσκεται το κουτί ελέγχου. για τον πύργο

Οι δίσκοι ηλιοστάτη θα πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
-να είναι αρκετά ισχυροί για να υποστηρίξουν το βάρος τους, τη κινητή δομή τους και τα φορτία ανέμου και να είναι άκαμπτοι, ώστε να αποφευχθούν οι δονήσεις χαμηλής συχνότητας
-Να είναι σε θέση να παράγουν εξαιρετικά αργή κίνηση, με υψηλά ποσοστά μείωσης (έως 40.000:1)
-Να έχουν πολύ ακριβή τοποθέτηση (χρήση κωδικοποιητών) και όχι ελεύθερη κυκλοφορία
-Να είναι σε θέση να εξασφαλίσουν σχετικά γρήγορη επιστροφή στην θέση τους σε περίπτωση ισχυρών ανέμων ή άλλων επικίνδυνων καιρικών συνθηκών, και άλλων εκδηλώσεων
-Να έχουν αντοχή σε εξωτερική έκθεση
_Να έχουν εύκολη συντήρηση
-Να έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας
Η πιο κοινή διαμόρφωση του μηχανισμού κίνησης είναι τα κιβώτια τύπου warm(κοχλία) για τα συστήματα ανύψωσης και τους άξονες αζιμούθιου .Και τα δύο γρανάζια είναι ανάλογα σε σχέση με το σχήμα των δοντιών και τον λόγο της μείωσης. Το εργαλείο warm παρέχει υψηλά ποσοστά μείωσης σε οριακές περιπτώσεις αλλα είναι λιγότερο αποτελεσματικό λόγω της υψηλής πίεσης τριβής.

3.4 Ο ηλιακός δέκτης

Σε μια ηλιακή μονάδα πύργου ισχύος, ο δέκτης είναι ο εναλλάκτης θερμότητας όπου το συμπυκνωμένο φως του ήλιου συλλέγεται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια χρήσιμη σε θερμοδυναμικούς κύκλους. Η ροή της ακτινοβολίας και η θερμοκρασία είναι σημαντικά υψηλότερες από ό, τι στα παραβολικά κοίλα, και ως εκ τούτου, χρειάζεται υψηλή τεχνολογία. Ο ηλιακός δέκτης θα πρέπει να μιμείται ενα μέλαν σώμα ελαχιστοποιώντας έτσι τις απώλειες από την ακτινοβολία. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται κοιλότητες, βαμμένα μαύρα πάνελ σωλήνα ή πορώδεις απορροφητές ώστε να παγιδεύσουν τα φωτόνια .

Στα περισσότερα σχέδια, ο ηλιακός δέκτης είναι μια ενιαία μονάδα που συγκεντρώνει όλη την ενέργεια που συλλέγεται από τον μεγάλο πεδίο των κατόπτρων , και ως εκ τούτου είναι αναγκαία η μεγάλη διαθεσιμότητα και αντοχή. Ακριβώς όπως η μείωση του κόστους είναι η προτεραιότητα για περαιτέρω ανάπτυξη στον τομέα της συλλογής έτσι και στους ηλιακούς δέκτες, οι προτεραιότητες είναι η θερμική απόδοση και αντοχή. Τυπικά δέκτές θερμοκρασίες λειτουργίας απορροφηση του δέκτη είναι μεταξύ 500°C και 1200°C και η προσπίπτουσα ροή καλύπτει ένα ευρύ φάσμα μεταξύ 300 και πάνω από 1000 kW/m^2. Η εικόνα στο σχήμα 31 δείχνει καθαρά την υψηλή ροή του δέκτη.

3.5 Είδη ηλιακών δεκτών

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια ταξινόμησης του ηλιακή δέκτη, ανάλογα με την κατασκευή του δέκτη , την χρήση των ενδιάμεσων υλικών απορρόφησης , το είδος του θερμικής υγρού που χρησιμοποιείται και τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας.
Σύμφωνα με τη γεωμετρική διαμόρφωση, υπάρχουν βασικά δύο επιλογές σχεδιασμού:

-οι εξωτερικοί και

-οι δέκτες τύπου κοιλότητας.

Σε ένα δέκτη κοιλότητας, η ακτινοβολία που αντανακλάται από τους ηλιοστάτες περνά μέσα από ένα άνοιγμα που μοιάζει με κουτί πριν προσπέσει στην επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας.
Οι κοιλότητες είναι περιορισμένες γωνιακά και ακολούθως χρησιμοποιούνται στον βόρειο πεδίο (ή νότιο πεδίο). Οι εξωτερικοί δέκτες μπορούν να σχεδιαστούν με ένα επίπεδο σωληνοειδές πάνελ ή μπορεί να είναι κυλινδρικού σχήματος.
Κυλινδρικοί εξωτερικοί δέκτες είναι η τυπική λύση που υιοθετήθηκε για τα περιβάλλοντα πεδία ηλιοστάτη. Το σχήμα 32 παρουσιάζει παραδείγματα των κυλινδρικών εξωτερικών,πινακοειδών εξωτερικών, και δεκτών τύπου κοιλότητας.

Οι δέκτες μπορεί άμεσα ή έμμεσα να ακτινοβοληθούν ανάλογα με τα υλικά απορρόφησης που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ενέργειας του ρευστού .Άμεσα ακτινοβολημένοι δέκτες κάνουν χρήση υγρών ή ρεύματων σωματιδίων που ναι σε θέση να απορροφήσουν αποτελεσματικά την συμπυκνωμένη ροή.

Οι δέκτες αυτοί είναι εξαιρετικές λύσεις και για χημικές εφαρμογές, αλλά περιορίζονται έντονα από το μέγεθος μιας ενιαίας θυρίδας και ως εκ τούτου είναι αναγκαίες συστάδες των δεκτών.

Σχήμα 31:Πλευρική άποψη του τσιμεντένιου πύργου 80m της CESA-1 στην Plataforma Solar deAlmeria στην Ισπανία.

Το βασικό στοιχείο του σχεδιασμού, των έμμεσα θερμαινόμενων δέκτών είναι η επιφάνεια και ο μηχανισμός ανταλλαγής θερμότητας.Βασικά, χρησιμοποιούνται δύο επιλογές μεταφοράς θερμότητας, τα σωληνωτά πλαίσια και ογκομετρικές επιφάνειες.

Στα σωληνωτά πλαίσια, ψυχρό θερμικό υγρό ρέει στο εσωτερικό του σωλήνα και αφαιρεί τη θερμότητα που συλλέγεται από την εξωτερική μαύρη επιφάνεια με συναγωγή. Ως εκ τούτου, λειτουργεί ως αναγκαίος αναρρωτικός εναλλάκτης θερμότητας.

Ανάλογα με τις ιδιότητες των ρευστών μεταφοράς θερμότητας και της προσπίπτουσας ηλιακής ροής, ο σωλήνας μπορεί να υποβληθεί σε θερμομηχανική καταπόνηση.

Σχήμα 32: Διαφορετικές διαμορφώσεις των ηλιακών δεκτών. Από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω: (α) εξωτερικός σωληνοειδής κυλινδρικός, (β) σωληνοειδής κοιλότητας, (γ) σωληνοειδής πινακοειδής και (δ) ογκομετρικός

Επειδή η μεταφορά της θερμότητας είναι μέσω της επιφάνειας του σωλήνα, είναι δύσκολο να λειτουργεί με προσπίπτουσα ροή πάνω από 600 kW/m ^{2} (κορυφή). Ο πίνακας 7 δείχνει πώς μόνο με υψηλής θερμικής αγωγιμότητας υγρά όπως το νάτριο είναι δυνατόν να επιτευχθούν ροές λειτουργίας πάνω από 1 MW/m^2.

Πίνακας 7 :Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας και ροής των ηλιακών δεκτών

Fluid	Water/Steam	Liquid Sodium	Molten Salt (nitrates)	Volumetric Air
Flux (MW/m^2)				
Average	0.1–0.3	0.4–0.5	0.4–0.5	0.5–0.6
Peak	0.4–0.6	1.4–2.5	0.7–0.8	0.8–1.0
Fluid outlet temperature (°C)	490–525	540	540–565	700–800 (> 800)

Οι αερόψυκτοι δέκτες έχουν δυσκολίες να λειτουργήσουν με σωληνωτούς δέκτες, λόγω των χαμηλότερων συντελεστών μεταφοράς θερμότητας, όπως έχει ήδη βρεθεί στο Γερμανο-Ισπανικό έργο GAST όπου δύο σωληνωτοί δέκτες, ένας μεταλλικός και ένα κεραμικός, εξετάστηκαν στο PSA στην Ισπανία .Για να βελτιωθεί η επιφάνεια επαφής, μια διαφορετική προσέγγιση με βάση σε σύρμα, αφρό ή κατάλληλα διαμορφωμένο υλικό χρησιμοποιείται .

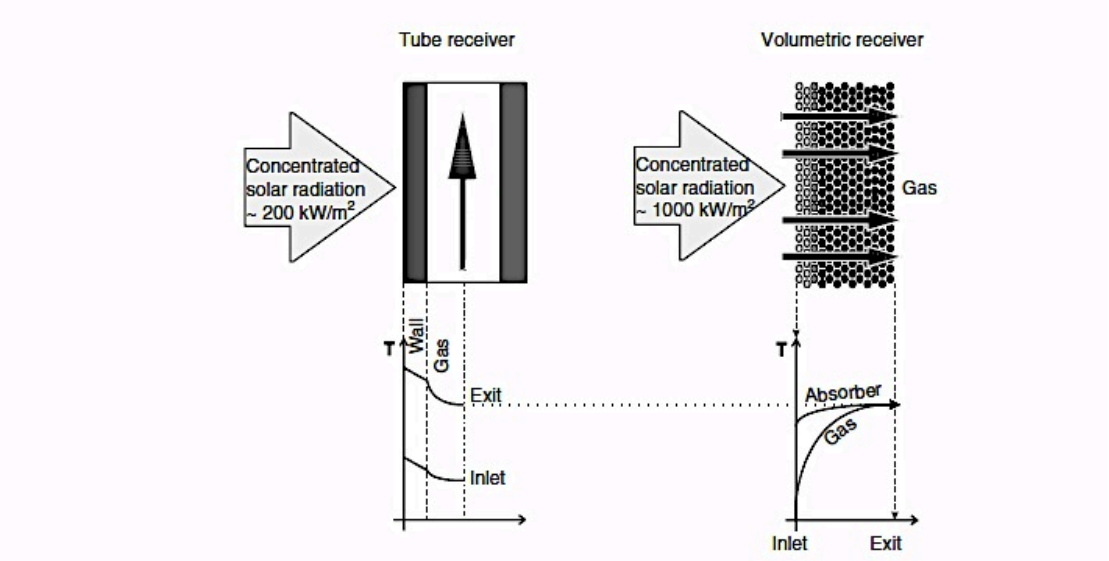
Στους ογκομετρικούς δέκτες, τα πορώδη υλικά που λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας συναγωγής απορροφούν την συμπυκνωμένη ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται σε μια εξωτερική

επιφάνεια, αλλά στο εσωτερικό της δομής ,σε ένα ειδικό χώρο. Το μέσο μεταφοράς θερμότητας (ως επί το πλείστον αέρας) πιέζεται μέσω της πορώδους δομής και θερμαίνεται με μεταφορά θερμότητας συναγωγής.

Το σχήμα 33 δείχνει μια σύγκριση των αρχών απορρόφησης . Οι ογκομετρικοί απορροφητές είναι συνήθως λεπτά θερμοανθεκτικά σύρματα (σε πλεκτά ή στρωμένα πλέγματα), ή είναι υλικά από μέταλλο ή κεραμικό (πλεγματώδεις αφροί, κλπ.) με δομές ανοικτών κυψελίδων.Οι καλοί ογκομετρικοί απορροφητές είναι πολύ πορώδεις, επιτρέποντας την ακτινοβολία να διεισδύσει βαθιά μέσα στην κατασκεύη.Λεπτές υποδομές (καλώδια, τοίχοι) διασφαλίζουν την καλή μεταφορά θερμότητας συναγωγής . Οι καλοί ογκομετρικοί απαρροφητές παράγουν το λεγόμενο «ογκομετρικό αποτέλεσμα», πράγμα που σημαίνει ότι η ακτινοβολία στην πλευρά του απορροφητήρα είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το μέσο που φεύγει από τον απορροφητήρα. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, οι ογκομετρικοί απορροφητές τείνουν να έχουν μια ασταθή κατανομή της ροής μάζας.

Η επιλογή μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας δέκτη είναι ένα πολύπλοκο έργο, καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας, το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας και ο θερμοδυναμικός κύκλος επηρεάζουν το σχεδιασμό. Σε γενικές γραμμές οι σωληνωτές τεχνολογίες επιτρέπουν είτε υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 1000°C) ή υψηλές πιέσεις (έως 120 bar) αλλά όχι και τα δύο .

Οι αμεσα ακτινοβολλημένοι ή οι ογκομετρικοί δέκτες επιτρέπουν ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες, αλλά περιορίζουν τις πιέσεις κάτω από τα 15 bar.



Σχήμα 33: Αρχές μεταφοράς θερμότητας σε σωληνοειδείς και ογκομετρικούς δέκτες

3.5.1 Σωληνοειδείς Δέκτες

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά το παρελθόν είναι οι σωληνοειδές δέκτες, στους οποίους η συμπυκνωμένη ακτινοβολία μεταφέρεται στο ψυκτικό υγρό μέσω ενός μετάλλικού ή κεραμικού τοίχου. Συμβατικά πάνελ με μαύρους μεταλλικούς σωλήνες έχουν χρησιμοποιηθεί με

ατμό, νάτριο και τετηγμένα αλάτα για θερμοκρασίες μέχρι 500-600 °C . Πολύ μικρότερη εμπειρία υπάρχει για σωληνοειδείς δέκτες με φυσικό αέριο, αν και θερμοκρασίες στην περιοχή των 800-900°C. Οι δέκτες κοιλότητας έχουν δοκιμαστεί στη Γαλλία (Themis) και Ισπανία (έργο IEA–SSPS και μονάδα CESA-1).

Οι εξωτερικοί σωληνοειδείς δέκτες χρησιμοποιούνταν στην Solar One (ΗΠΑ),την IEA–SSPS–CRS (Ισπανία) και Solat Two (ΗΠΑ). Άλλα πειραματικά συστήματα που χρησιμοποιούσαν νερό/ατμό και σωληνοειδείς δέκτες ήταν στην Νιο (Ιαπωνία),στην Eurelios(Ιταλία), και στον SES-5 στην πρώην Σοβιετική Ένωση.

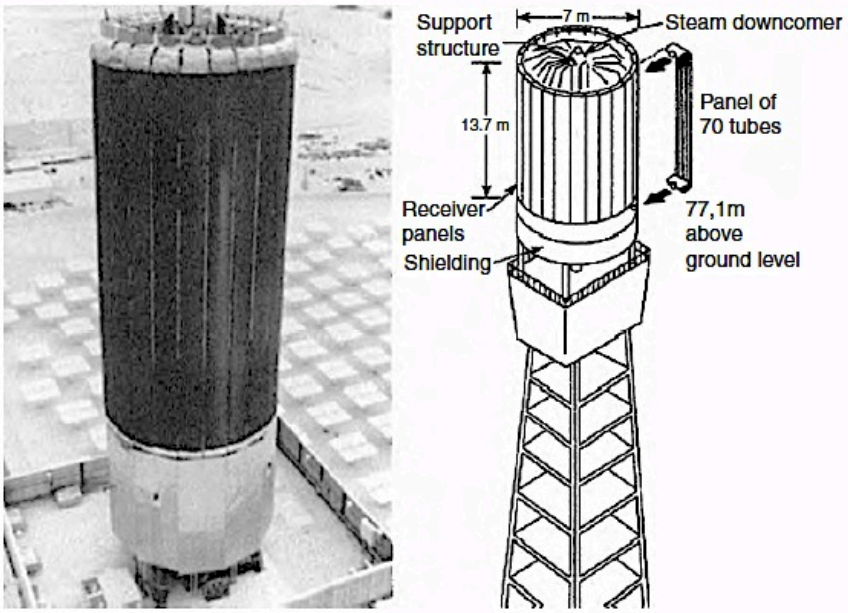
Το Solar One στην Barstow(Καλιφόρνια, ΗΠΑ) χρησιμοποιούσε υπέρθερμο δέκτη ατμού/νερού τεχνολογίας once-through. Λειτούργησε από το 1984 ως το 1988 και υπήρξε ο μεγαλύτερος κεντρικός δέκτης στον κόσμο για δύο δεκαετίες. Ήταν ένας εξωτερικός κυλινδρικός δέκτης αποτελούμενος από 24 μέτρα πλάτος και 14 μέτρα μήκους ορθογώνια πάνελ (Σχήμα 34).Τα 6 πάνελ στη νότια πλευρά ήταν μονάδες προθέρμανσης υδροδότησης. Το προθερμασμένο νερό στη συνέχεια μεταφερόνταν στους λέβητες και υπερθερμαντήρες στη βόρεια πλευρά. Οι σωλήνες σε κάθε πάνελ ήταν συγκολλημένοι σε όλο το μήκος τους και βαμμένοι μάυροι με βαφή Pyromark. Οι προδιαγραφές της μελέτης ήταν για ατμό σε 516°C και πίεση 100 bar και μέχρι ισχύ 42 MW_t που θα μπορούσε να απορροφηθεί από τον δέκτη.Η αρχική θερμική απόδοση ήταν 77% για την απορροφούμενη ισχύ των 34 MW_t .Μετά από το βάψιμο με μαύρο και την διόρθωση της επιφάνειας η απόδοση αυξήθηκε σε 82% με α=0.97.

Σχεδόν σταθερές θερμικές απώλειες έχουν επαληθευτεί (4,5 - 5 MW_t) για αυτό το είδος του δέκτη, που οφείλονταν κυρίως στις ζημίες ακτινοβολίας και τη λειτουργία του δέκτη σε σταθερές θερμοκρασίες ρυθμίζοντας την ροή μάζας. Ένα από τα κύρια προβλήματα που διαπιστώθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμής ήταν η υπερθέρμανση και παραμόρφωση στο τμήμα θέρμανσης λόγω της ηλιακής μετάβασης και της φτωχής μεταφοράς θερμότητας.Επίσης παρατηρήθηκε σπάσιμο και διαρροή στην κορυφή του σωλήνα του λέβητα μετά από 18 μήνες λειτουργίας. Η απόκλιση της θερμοκρασίας μεταξύ των άκρων και του κέντρου του σωλήνα μπορούσε να πάει μέχρι 111°C κατά την διαρκεια του ανοίγματος και κλεισίματος.

Το CESA-1, το οποίο λειτούργησε για 1631 ώρες , μεταξύ 1983 και 1986 στην Almeria(Ισπανία), ήταν ένας βορινά-προσανατολισμένος δέκτης νερού-ατμού ,κοιλου τύπού .Το 3,4 m^2 άνοιγμα του είχε κλίση 20° στο πεδίο του ηλιοστάτη. Η διαμόρφωση του πίνακα-δέκτη και η θέση του τυμπάνου ατμού φαίνεται στο Σχήμα 35. Ο λέβητας αποτελούνταν από τρία πάνελ του A-106 Gr B σωλήνα από χάλυβα, με μιά επιφάνεια των 48,6m^2, και ένα υπερθερμαντήρα φτιαγμένο από X-20 Cr Mo V 121 χάλυβα. Η μέγιστη ισχύς 6,7MWστο δέκτη παρήγαγε υπέρθερμο ατμό 110 kg/ cm^2 στους 525°C. Όπως και στον Solar One, τα προβλήματα λειτουργίας και οι αισθητές παραμορφώσεις που βρέθηκαν στην υπερθέρμανση απαιτούσαν την λειτουργία σε χαμηλότερη ροή.

Οι σωληνώδεις δέκτες λιωμένου άλατος εκπροσωπούνται από το σύστημα Themis (κοιλότητας) και Solar Two (εξωτερικό κυλινδρικό). Σε ένα σύστημα λιωμένου αλατιού , ψυχρό αλάτι περίπου 290°C αντλείται από τη δεξαμενή στο

επίπεδο του εδάφους ενώ ο δέκτης είναι τοποθετημένος στην κορυφή ενός πύργου όπου θερμαίνεται από το συμπυκνωμένο φως του ήλιουσε 565°C. Χρησιμοποιώντας τετηγμένα αλάτα, ως ψυκτικό του δέκτη παρέχονται μια σειρά από οφέλη, διότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή φάσης και είναι δυνατό να θερμανθεί έως 565°C, χωρίς τα προβλήματα που συνδέονται από υπερθέρμανση του σωλήνα. Μείγματα 60% νιτρικού νατρίου και 40% νιτρικού καλίου έχουν δοκιμαστεί εκτενώς, με ικανοποιητικά αποτελέσματα στη Γαλλία και τις Η.Π.Α. Τα λιωμένα νιτρικά άλατα παρέχουν καλή θερμική αγωγιμότητα (0,52 W /mK) και θερμοχωρητικότητα (1,6 kJ/kgK) σε σχετικά χαμηλές τιμές.Το τηγμένο νιτρικό αλάτι, αν και εξαιρετικό θερμικό μέσο αποθήκευσης, μπορεί να είναι ένα ενοχλητικό μέσο λόγω του σχετικά υψηλού σημείο πήξης του (220°C). Για να διατηρηθεί το αλάτι λιωμένο, χρειάζεται ένα αρκετά πολύπλοκο σύστημα θερμότητας.

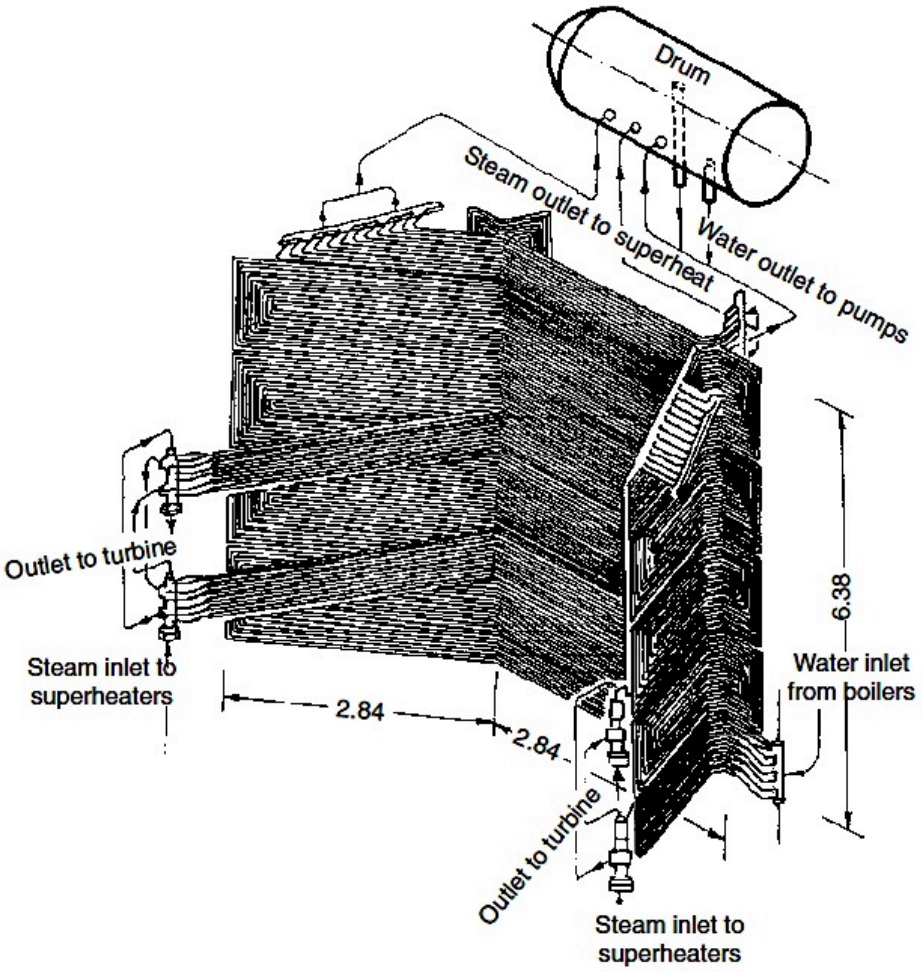


Σχήμα 34: Εξωτερικοί κυλινδρικοί σωλήνες στον Solar One (Barstow, Καλιφόρνια)

Προβλήματα σημειώθηκαν κατά την εκκίνηση του Solar Two λόγω της ακατάλληλης εγκατάστασης του ίχνους θερμότητας. Αν και αυτό το πρόβλημα έχει αντιμετωπιστεί και διορθωθεί , η έρευνα είναι απαραίτητη για να μειωθεί η εξάρτηση από τα ίχνη θερμότητας σε αυτές τις εγκαταστάσεις. Επίσης, οι βαλβίδες μπορεί να είναι προβληματικές στην λειτουργία του λιωμένου αλατιού. Ειδικές συσκευασίες πρέπει να χρησιμοποιούνται και οι διαρροές δεν είναι ασυνήθιστες. Επιπλέον, η ψύξη στη βαλβίδα ή τη συσκευασία μπορεί να αποτρέψει την σωστή λειτουργία. Ενώ η τεχνολογία της βαλβίδας σήμερα είναι επαρκής για πύργους ενέργειας λιωμένου αλάτιου , η βελτίωση του σχεδιασμού και της τυποποίησης, θα μειώσει τον κίνδυνο και τελικά θα μειώσει και το λειτουργικό κόστος. Ο πίνακας 8 συνοψίζει τις συνηθισμένες θερμοκρασίες λειτουργίας, την προσπίπτουσα ροή, τις πιέσεις, και την αποτελεσματικότητα των σωληνοειδων δεκτών νερού/ατμού και λιωμένου αλατιού.

Πίνακας 8: Περίληψη του Εύρους για σωληνοειδείς Δέκτες νερού/ατμού και Λιωμένου Αλατιού

Receivers Water/Steam	Molten Salt Receivers
Temperature fluid outlet 250/525°C	Temperature outlet 566°C
Incident flux 350 Kw/m^2	Incident flux 550 kW/m^2
Peak flux 700 kW/m^2	Peak flux 800 kW/m^2
Pressure 100–135 bar	Efficiency 85–90%
Efficiency 80–93%	



Σχήμα 35: Εσωτερική άποψη του πάνελ και του σωληνοειδή τύμπανου του δέκτη κοιλότητας νερού/ατμού που χρησιμοποιήθηκε στο CESA-1(Ισπανία).

3.5.2 Ογκομετρικοί δέκτες

Οι ογκομετρικοί δέκτες χρησιμοποιούν εξαιρετικά πορώδεις δομές για την απορρόφηση της συγκεντρωμένης ηλιακής ακτινοβολίας βαθιά μέσα (στον «όγκο») στο σύστημα. Οι ογκομετρικοί δέκτες μπορούν να λειτουργούν ανοικτά στο περιβαλλον ή να περικλείονται από ένα διαφανές παράθυρο. Με απορροφητές μετάλλου είναι δυνατό να επιτευχθούν θερμοκρασίες εξόδου

αέρα έως 850°C και με κεραμικές ίνες, αφρό , ή μονόλιθους η θερμοκρασία μπορεί να ξεπεράσει 1000°C.

Τα κύρια πλεονεκτήματα ενός αερόψυκτου ογκομετρικου δέκτη ειναι:

-ο αέρας είναι δωρεάν και είναι πλήρως διαθέσιμος στην τοποθεσία
-δεν υπάρχει κίνδυνος παγώματος
-οι υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατές και, συνεπώς, η ενσωμάτωση της ηλιακής θερμικής ενέργειας σε πιο αποδοτικό θερμοδυναμικό κύκλο φαίνεται εφικτή
- Καμία αλλαγή φάσης
- απλούστερο σύστημα
-γρήγορη απόκριση σε μεταβατικές καταστάσεις ή αλλαγές στη ροή
-δεν υπάρχουν ειδικές προϋποθέσεις ασφαλείας
-χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις
Οι ανοικτοί ογκομετρικοί δέκτες έχουν σημειώσει εντυπωσιακή πρόοδο από τις πρωτοποριακές εμπειρίες των τελών του 1970 και των αρχών της δεκαετίας του 1980 .Περισσότεροι από 20 απορροφητές και πρότυπα των τάξεων των 200-300 kW_{th} έχουν δοκιμαστεί στα πεδία δοκιμών Sulzer στο PSA. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των ογκομετρικών πρωτοτύπων που δοκιμάστηκαν απέδειξε τη σκοπιμότητα της παραγωγής θερμού αέρα σε θερμοκρασίες από 1000°C και πάνω σε περιοχές παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για το λιωμένο αλάτι ή τους δέκτες νερού/ατμού.Ο μέσος όρος ροής των 400 kW/m^2 και τα ύψη ισχύος των 1000 kW/m^2 έχουν αποδειχθεί, με ικανοποιητικά αποτελέσματα .

Συγκριτικές εκτιμήσεις έχουν δείξει ότι το μεταλλικό πλέγμα έχει τις χαμηλότερες θερμικές απώλειες (Πίνακας 9). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί κυρίως από το γεγονός οτι ο συλλέκτης ειναι αρκετά πορώδης , που επιτρέπει σε ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας να διεισδύσει βαθιά μέσα τον όγκο του. Η επιλογή κεραμικών ως απορροφητικό υλικό, καθιστά δυνατές υψηλότερες θερμοκρασίες εξόδου του αερίου. Ειδικότερα, η επιλογή της σιλικόνης έχει αποδειχθεί ως μια καλή επιλογή, λόγω της υψηλής θερμικής της αγωγιμότητας. Ακόμα κι αν οι κεραμικοί απορροφητές έχουν χαμηλότερη απόδοση τους 680°C έχουν δείξει ότι η αποτελεσματικότητα τους είναι περίπου 80% σε θερμοκρασίες των 800°C. Με τις υψηλότερες ροές ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίες, πιο συμπαγείς σχεδίασεις και μικρότεροι συλλέκτες μπορούν να να αναπτυχθούν.

Ένα ορόσημο στην πειραματική κλίμακα προόδου των ανοικτών ογκομετρικών δεκτών ήταν το έργο TSA (Technology Program Solar Air Receiver) υπό την ηγεσία της γερμανικής Steinmuller Company. Ένας 2,5 MWt αερόψυκτος δέκτης δοκιμάστηκε στην κορυφή του CESA-1 PSA πύργου στα τέλη του 1991. Η TSA πειραματική διάταξη ήταν ένας μικρής κλίμακας PHOEBUS τύπος δέκτη στον οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται μέσω ενός δέκτη σε θερμοκρασίες της τάξης των 700°C για την παραγωγή ατμού στους 480-540°C και 35-140 bar, σε μια γεννήτρια ατμού ανάκτησης θερμότητας με ένα ξεχωριστό υπερθερμαντή, αναθερμαντήρα, εξατμιστήρα, και τροφοδότη της Rankine τουρμπίνας-γεννήτριας . Όλο το υλικό, συμπεριλαμβανομένων των δεκτών, γεννήτριας ατμού, και της αποθήκευσης θερμότητας, βρισκόταν στην

κορυφή του CESA-1 πύργου. Ο μέσος όρος ροής ηλιακής ακτινοβολίας στο άνοιγμα του δέκτη ήταν 0,3 MW/m^2.
Το σύστημα ελέγχου του πεδίου του ηλιοστάτη υλοποιήθηκε με αλγόριθμους heuristic για να λάβει μια αυτόματη στρατηγική που στοχεύει στην διατήρηση σταθερής ροής αέρα και θερμοκρασίας εξόδου . Από τον ένα από τους δύο φυσητήρες ελέγχεται η ρυθμός ροής μάζας αέρα μέσα από τον δέκτη και την άλλη ο αέρας μέσω της γεννήτριας ατμού.

Η 1000 kWh δυναμικότητα του συστήματος αποθήκευσης ήταν αρκετή για να επιτρέψει 30 λεπτά ονομαστικής λειτουργίας μακριά από τον ήλιο. Ανάλογα με το φορτίο, θα μπορούσε να φορτισθεί , παρακαμφθει ή απορριφθεί. Ο απορροφητήρας 3 μέτρων διαμετρου έγινε από εξαγωνικά φυσίγγια μεταλικού πλέγματος(Σχήμα 36). Ο δέκτης TSA λειτούργησε επιτυχώς από την DLR και CIEMAT για ένα σύνολο περίπου 400 ωρών μεταξύ Απριλίου και Δεκεμβρίου 1993 και για μικρότερο χρονικό διάστημα το 1994 και το 1999, αποδεικνύοντας ότι η θερμοκρασία εξόδου του δέκτη 700°C θα μπορούσε εύκολα να επιτευχθεί μέσα σε 20 λεπτά απο την εκκίνηση της εγκατάστασης .Οι θερμικές αποδόσεις που ελήφθησαν ήταν μέχρι και 75% όπως φαίνεται στο σχήμα 37.
Ένας σημαντικός αριθμός των ογκομετρικών πρωτότυπων έχουν αναφερθεί ότι είναι ανίκανος να επιτύχει ονομαστικές σχεδιατικές συνθήκες, δεδομένου των τοπικών ρωγμών και δομικών βλαβών. Οι αποτυχίες αυτές, σε πολλές περιπτώσεις προκαλούνται από θερμικό σοκ, αστοχία υλικού ή κακή λειτουργία. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ορισμένα σχέδια προωθήθηκαν απο το German Aerospace Cente (DLR)που μελέτησε τους ρευστοδυναμικούς και θερμικούς μηχανισμούς που είναι εμφυτοι στους ογκομετρικούς απορροφητές .Ένα από τα συμπεράσματα των μελετών αυτών ήταν ότι τα εξαιρετικά πορώδη υλικά απορρόφησης είναι ασταθή υπό υψηλή ροή ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία οδηγεί στην καταστροφή (ρωγμές ή τήξη) της δομής της απορρόφησης από την τοπική υπερθέρμανση .

Ως αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης, μια νέα προσέγγιση αναπτύχθηκε, οι μονολιθικοί κεραμικοί απορροφητές, που μπορούν να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και ροές, λόγω της υψηλής τους θερμικής αγωγιμότητας και γεωμετρικά σπονδυλωτής κατασκευής, που είχαν τεθεί για την πρώτη χρήση στο γερμανο-ισπανικό έργο HiTRec και στη συνέχεια στο ευρωπαϊκό σχέδιο Solair.

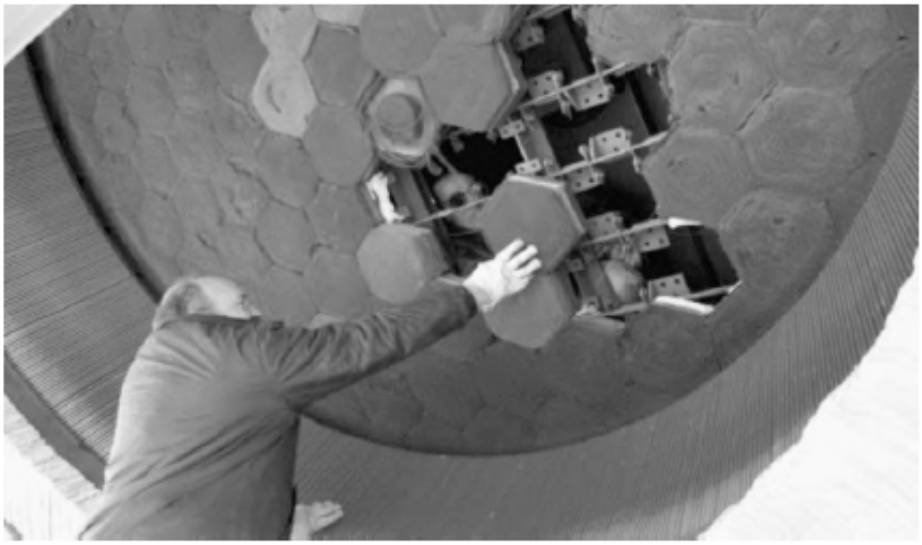
Πίνακας 9 :Ιδιότητες και αποτελεσματικότητα που αναφέρθηκαν για διάφορα υλικά απορρόφησης που δοκιμάστηκαν στο Plataforma Solar de Almeria

Type of Receiver	Designed by	Absorber Structure	Porosity (V_p/V_{tot})	$D_{m,p}$[a] mm	Absorber Thickness mm	Material	Thermal Conductivity (500°C) W/m.K	Efficiency 680°C (%)
Metallic wire	SULZER	Wire mesh	0.95	2.5	35	Stainless steel	20	75
Ceramic foam	SANDIA	Amorphous foam	0.8	1.0	30	Al_2O_3	25	54
Metallic foils	Interatom/Emitec	Prismatic channels	0.9	1.0	90	$X_5CrAl_2O_5$	20	57
Ceramic foils	DLR/Ceramtec	Prismatic channels	0.4	3.0	92	SiSiC	80	60
Ceramic cups	DLR/STOBBE	Prismatic channels	0.5+0.12 apert.	2.1	80	SiSiC	80	60

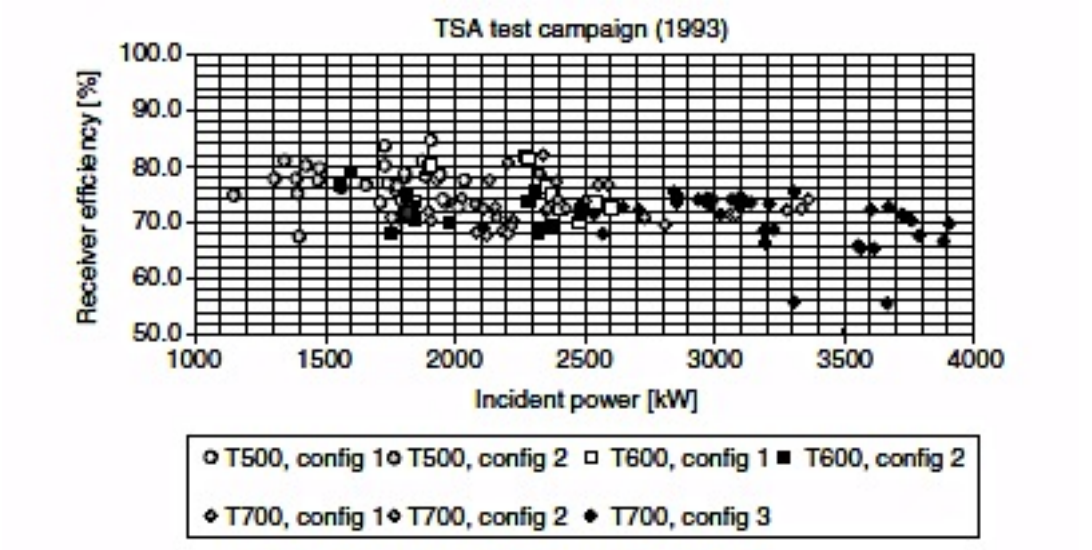
[a] Mean pore diameter.

Η αρχή του δέκτη HiTRec-Solair φαίνεται στο Σχήμα 38. Μια δομή υποστήριξης από ανοξείδωτο χάλυβα στο το πίσω μέρος απορροφητήρα αποτελεί τη βάση του δέκτη.

Ψυχρός αέρας κυκλοφορεί μεταξύ των φύλλων του απορροφητήρα και δροσίζει τη δομή υποστήριξης. Ο αέρας φτάνει στο διάφραγμα απορρόφησης μέσω των χώρων μεταξύ των τμήματων της διάταξης. Ο εξερχόμενος αέρας και ο αέρας του περιβάλλοντος, αναμειγνύονται και αναρροφούνται πίσω στα τμήματα. Καθώς διαπερνούν την δομή απορροφησης ο αέρας θερμαίνεται από συναγωγή. Κατά την έξοδο από τη δομή του απορροφητήρα, ο ζεστός αέρας διοχετεύεται στον πάτο της κούπας. Υπάρχει ένα στόμιο, που διαμορφώνει το μέγεθος σύμφωνα με την προσομοιωση ηλιακής ροής και ρυθμίζει τον ρυθμό ροής της αέριας μάζας ώστε να αντισταθμίσει την αναμενόμενη ηλιακή ροή πάνω από το διάφραγμα και να παρέχει ομοιογενή θερμοκρασία του αέρα εξόδου από την κούπα.Στη συνέχεια, ο αέρας περνά μέσω των σωλήνων που φιλοξενούν τα κύπελλα σε όλες τις τρύπες στο πίσω φύλλο της μεμβράνης.



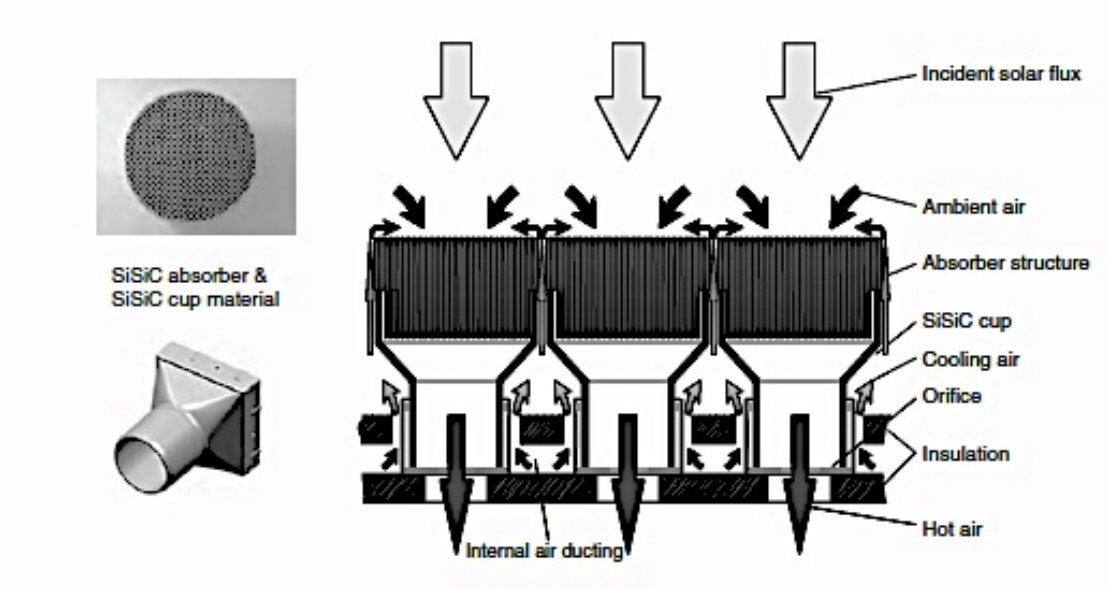
Σχήμα 36 :Πρόσοψη των ογκομετρικοών δεκτών TSA. Ο συλλέκτης αποτελείται από εξαγωνικα κομμάτια σύρματος



Σχήμα 37: απόδοση δέκτη TSA σε διαφορετικές θερμοκρασίες και καταστάσεις ισχύος κατά τη διάρκεια του 1993

Ένα πρώτο βήμα προς την ανάπτυξη αυτού του τύπου του δέκτη, ήταν ο 200 kW HiTRec II-δέκτης.Οι δοκιμές διήρκεσαν από το Νοέμβριο του 2000 μέχρι το Μάιο του 2001. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος δοκιμών το HiTRec II λειτούργησε για 38 ημέρες και συγκέντρωσε συνολικά 155 ώρες λειτουργίας με θερμική απόδοση μέχρι 76±7% σε 700°C.

Τελικά, ένα πρωτότυπο Solair 3 MW αναπτύχθηκε, εγκατασταθηκε και δοκιμαστηκε στην TSA στο PSA και ως εκ τούτου συνδέεται με θερμοκλίνες αποθήκευσης θερμότητας, την γεννήτρια ατμού και το κυκλώμα του αέρα.

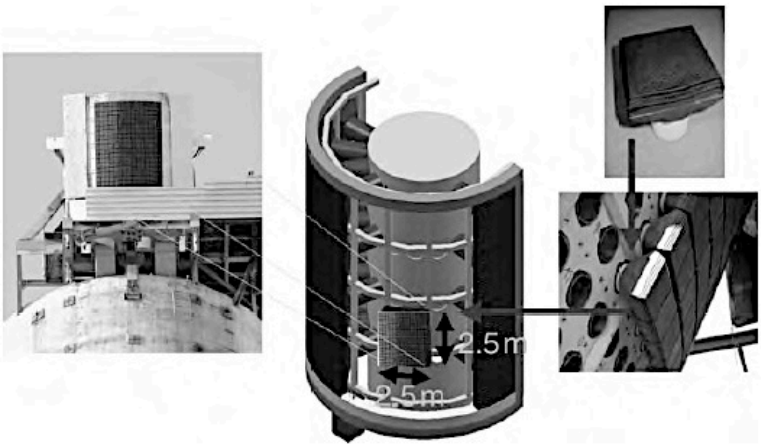


Σχήμα 38: Αρχή λειτουργίας των ογκομετρικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν στο HiTRec και στο Solair

Ο δέκτης σχεδιάστηκε σαν σπονδυλωτός απορροφητήρας, με 270-140 τετραγωνικά χιλιοστά κεραμικά μέρη. Κάθε μέρος αποτελείται από ένα τετράγωνο κτίσμα απορροφητήρα κολλημένο σε ένα φλιτζάνι SiSiC. Τα κύπελλα ήταν τετράγωνα στο άνοιγμα, αλλά στρογγυλά στο πίσω μέρος. Η κυψελωτή δομή του απορροφητήρα έγινε από ανακρυσταλλώμενο SiC με αρραιότητα 49,5%. Ο δέκτης Solair-3000 είχε συνολικό άνοιγμα επιφάνειας 5,67 m^2 (Σχήμα 39). Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αντανακλόνταν από την ηλιοστάτη και επικεντρώνονταν στον κεραμικό ογκομετρικό απορροφητή με μέση πυκνότητα ροής των 0,5 MW/m^2.Ο αέρας έφευγε από την έξοδο του απορροφητήρα σε 700-750°C. Το σύστημα αξιολογήθηκε κατά τη διάρκεια του 2003 και 2004 παρουσιάζοντας βαθμό επιστροφής αέρα(Air Return Ratio (ARR)) 0,5, αποτελεσματικότητα του (72±9)% σε θερμοκρασία 750°C και αποδοτικότητα του (74±9)% σε 700°C. Το ευρύ περιθώριο αβεβαιότητας (9%) ήταν λόγω της συσσώρευσης των αβεβαιοτήτων στη διαδικασία μέτρησης, κυρίως λόγω της ροής μάζας του αέρα και των περιστασιακών μετρήσεων ηλιακής ενέργειας. Για την ίδια θερμοκρασία του αέρα εξόδου, αυξάνονταν η αποτελεσματικότητα του απορροφητήρα με την προσπίπτουσα ηλιακή ροή.Αυτό συνέβενε επειδή οι θερμικές απώλειες ήταν ίδιες και τα θερμική κέρδη ήταν μεγαλύτερα. Η αποδοτικότητα απορροφησης ως εκ τούτου αντιπροσωπευεται καλύτερα απο από ένα τρισδιάστατο γράφημα(σχήμα 40). Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας εκτιμήθηκε πάνω

από 85% (και έως 89%) για θερμοκρασίες του αέρα εξόδου στην περιοχή των 590-630°C και οι μέσες προσπίπτουσες ηλιακή ροές στα 310-370 kW/m^2.

Παρά το γεγονός ότι η απλότητα και τα λειτουργικά αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, είναι προφανές ότι οι θερμικές αποδόσεις των ογκομετρικών δεκτών θα πρέπει να βελτιωθούν για να αντικαταστήσουν τους σωληνοειδείς δέκτες. Επιπλέον οι απώλειες ακτινοβολίας πρέπει να μειωθούν περαιτέρω και η ARR πρέπει να βελτιωθεί.



Σχήμα 39 :Στα αριστερά ο 3- MW δέκτης Solair που δοκιμαστηκε στο PSA. Η αρθρωτή διάταξη επιτρέπει το σχεδιασμό οποιοδήποτε μέγεθος. Στο κέντρο ένας 55-MW δέκτης αποτελείται από ένα σύμπλεγμα 3-MW μονάδων

Μια επιλογή για την λειτουργία με κλειστά κυκλώματα αέρα είναι η χρήση ογκομετρικών δεκτών με παράθυρα.Μια ελκυστική εφαρμογή είναι η χρήση των ηλιακών δεκτών ως θάλαμος προθέρμανσης ενός αεριοστροβίλου. Το 1996, το Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστημικής (DLR) ξεκίνησε ένα συγκεκριμένο αναπτυξιακό πρόγραμμα ονομαζόμενο REFOS με σκοπό την παραγωγή ενός βέλτιστου παραθύρου 350 kW που θα ήταν σε θέση να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες έως και 1000°Cμε πιέσεις έως 15 bar. Ο στόχος του έργου REFOS έργου ήταν η ανάπτυξη, κατασκευή και δοκιμή σπονδυλωτών ογκομετρικών δεκτών υπό αντιπροσωπευτικές συνθήκες λειτουργίας ζεύξης για τους αεριοστροβίλους. Δόθηκε έμφαση στην δοκιμή ηλιακής προθέρμανσης του αέρα, η οποία συνοδεύτηκε από τη βασική έρευνα υλικών. Ο δέκτης REFOS αποτελούταν από ένα κυλινδρικό δοχείο που περιέχει ένα κυρτό πλεκτό απορρ-φητήρα. Ένας εξάγωνικός δευτεροβάθμιος συγκεντρωτής με 1,2 m εσωτερική διαμέτρο χρησιμοποιήθηκε για να αυξήσει την πυκνότητα ροής και για την προστασία της φλάντζας του παραθύρου. Το εξαγωνικό σχήμα επιλέχθηκε για τη βελτιστοποίηση της διάταξης της συσκευασίας διασποράς, με τέτοιο τρόπο ώστε οι μονάδες REFOS να μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε μικρές ή μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (σχήμα 41). Τυπικές προδιαγραφές των REFOS ήταν:

-Απορροφώμενη ισχύς (σημείο σχεδιασμού): 350 kW ανά μονάδα.

-Απόλυτη πίεση (λειτουργίας): 15 bar

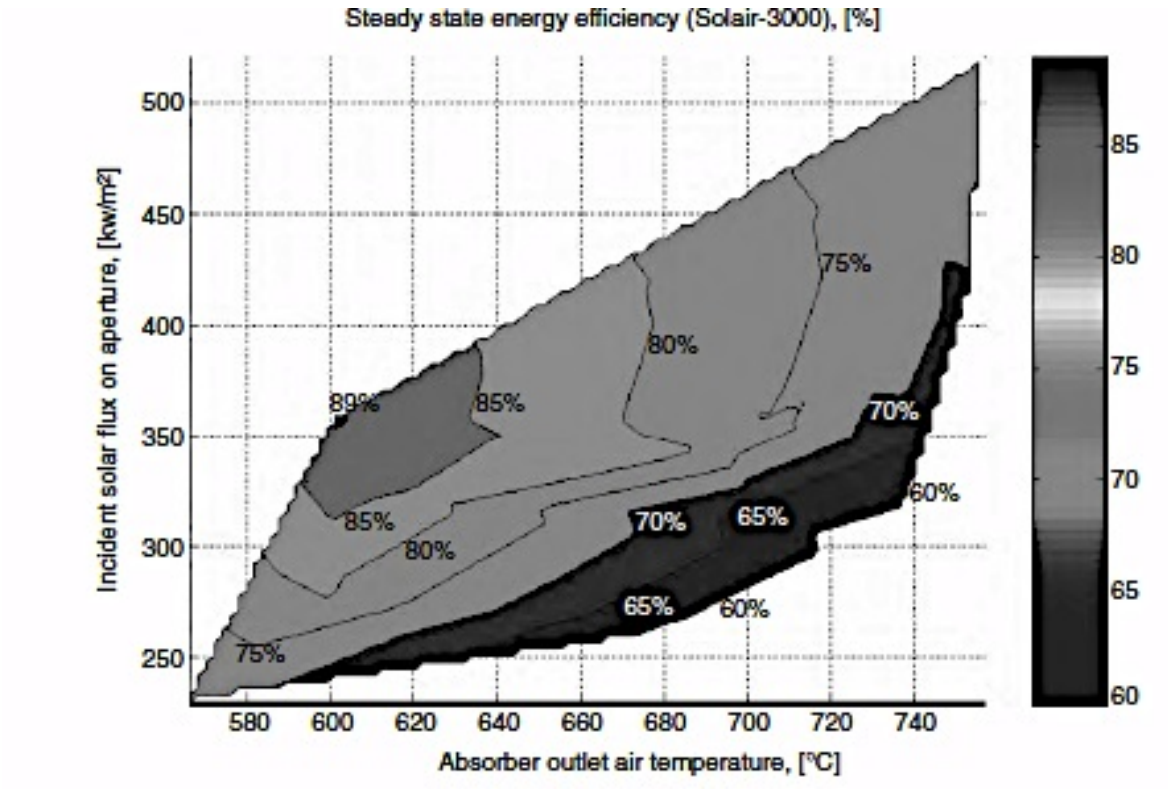
- Θερμοκρασία εξόδου αέρα: 800°C για τον μεταλλικό απορροφητήρα και μέχρι 1000°C για τα κεραμικά.

- αύξηση θερμοκρασίας ανά μονάδα: 150°C

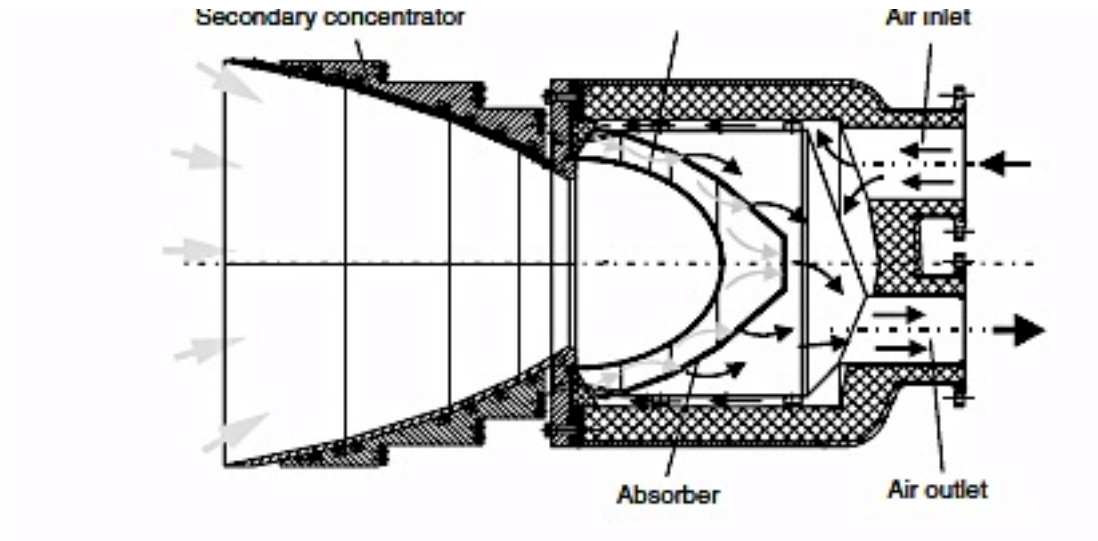
-Απόδοση δέκτη (συμπεριλαμβανομένης και της δευτεροβάθμιας): 80% στο σημείο του σχεδιασμού.

Πολλές μονάδες έχουν δοκιμαστεί στο PSA στο πλαίσιο συμφωνιών συνεργασίας μεταξύ της DLR και CIEMAT. Στις πιο εκτεταμένες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν το 1999, οι όροι του σχεδίου έχουν αποδειχθεί με λειτουργία σε θερμοκρασίες του αέρα εξόδου σε 800°C σε 15 bar και επίπεδα ισχύος μέχρι 400 kWt.

Πάνω από 247 ώρες δοκιμών απέδειξαν τη σκοπιμότητα του δέκτη, που έφθασε σε μέγιστη θερμοκρασία 1050°C του, χωρίς να υποστούν βλάβη,Η θερμική απόδοση ήταν μεταξύ 63% και 75%.



Σχήμα 40: Χάρτης που δειχνει την θερμική αποτελεσματικότητα του δέκτη Solair-3 MW έναντι της προσπίπτουσας ηλιακής ροής στο διάφραγμα και την θερμοκρασία εξόδου του αέρα



Σχήμα 41: Παράδειγμα 350 kW μονάδας REFOS. (Από την DLR, στη Γερμανία.)

3.6 Εμπορικά CRS

Ο πίνακας 10 δείχνει μια λίστα από CRS συστήματα που έχουν δοκιμαστεί σε όλο τον κόσμο, μαζί με νέες μονάδες που πρόκειται να κατασκευαστούν. Σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζονται ως μικρά συστήματα επίδειξης μεταξύ 0,5 και 10 MW και τα περισσότερα από αυτά λειτουργούσαν στην δεκαετία του 80. Η πιο μεγάλη εμπειρία έχει συλλεχθεί από ευρωπαϊκά έργα στην Ισπανία στις εγκαταστάσεις PSA ,ο 10 MW Solar One και Solar Two στις ΗΠΑ με ετήσια απόδοση 7% ενώ οι προβλέψεις είναι για αποδόσεις 23% με κόστος επένδυσης στα $ 0.9/Wp .Όμως η πρώτη γενιά των εμπορικών μονάδων επίδειξης πρέπει να κατασκευαστεί για να επικυρωθεί η τεχνολογία υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και αγοράς. Τρείς από τις πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες πύργου ισχύος έτοιμες προς υλοποίηση είναι οι εξής: (1) λιωμένου αλατιού (2) ανοικτού ή κλειστού βρόχου ογκομετρικού αέρα και (3) κορεσμένου ατμού.

Πίνακας 10: Πειραματικοί πυργοι ισχυος στον κόσμο

Project	Country	Power (MW_e)	Heat Transfer Fluid	Storage Media	Beginning Operation
SSPS	Spain	0.5	Liquid sodium	Sodium	1981
Eurelios	Italy	1	Steam	Nitrate salt/water	1981
Sunshine	Japan	1	Steam	Nitrate salt/water	1981
Solar One	U.S.A.	10	Steam	Oil/rock	1982
CESA-1	Spain	1	Steam	Nitrate salt	1982
MSEE/Cat B	U.S.A.	1	Nitrate salt	Nitrate salt	1983
Themis	France	2.5	Hitec salt	Hitech salt	1984
SPP-5	Russia	5	Steam	Water/steam	1986
TSA	Spain	1	Air	Ceramic	1993
Solar two	U.S.A.	10	Nitrate salt	Nitrate salt	1996
ConSolar	Israel	0.5[a]	Pressurized air	Fossil hybrid	2001
SOLGATE	Spain	0.3	Pressurized air	Fossil hybrid	2002
PS10	Spain	11	Water/steam	Saturated steam	2006
PS20[b]	Spain	20	Water/steam	Saturated steam	2008
Solar Tres[b]	Spain	17	Nitrate salt	Nitrate salt	2009

[a] Thermal.
[b] Projects under development.

3.7 Συγκροτήματα νερού-ατμού: Σταθμός PS10

Η παραγωγή υπέρθερμου ατμού στον ηλιακό δέκτη έχει αποδειχθεί σε πολλούς σταθμούς, όπως ο Solar One, ο Eurelios,ο CESA -1 αλλά υπήρξαν κρίσιμα προβλήματα που σχετίζονται με το τον έλεγχο των ζωνών με ανόμοιους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, όπως λέβητες και υπερθερμαντήρες. Καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την διάρκεια ζωής του πάνελ απορρόφησης και τη δυνατότητα ελέγχου έχουν αναφερθεί στους δέκτες κορεσμένου ατμού. Ειδικότερα, η πιλοτική μονάδα STEOR (ηλιακή θερμική βελτιωμένη ανάκτηση πετρελαίου),που αποδείχθηκε εξαιρετικά αξιόπιστη για την εξόρυξη ελαίου που χρησιμοποιεί άμεσο ψεκασμό του ατμού,ολοκληρώθηκε με επιτυχία και λειτουργούσε στο Kern County, στην Καλιφόρνια, για 345 ημέρες το 1983 .Οι καλές επιδόσεις των δεκτών κορεσμένου ατμού επίσης αναγνωρίσθηκε στο δέκτη 2 MW Weidman που παρήγαγε ατμό στα 15 bar για 500 ώρες το 1989.

Ακόμα κι αν μειώθηκαν οι τεχνικοί κίνδυνοι από τους δέκτες κορεσμένου ατμού, οι θερμοκρασίες εξόδου είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες των υπέρθερμου ατμού καθιστώντας απαραίτητη την αποθήκευση θερμότητας από τα ορυκτά καύσιμα ασφαλείας.

Προς το παρόν, το εκτιμώμενο κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλιακό μερίδιο των υβριδικών συστημάτων είναι $ 0.08-$ 0,15 ανά kWh, ενώ το αναμενόμενο κόστος για τους σκέτους ηλιακούς σταθμους είναι της τάξης των 0,15 έως 0,20 $ ανά kWh.

Η εφαρμογή των υβριδοποιημένων συστημάτων είναι μια σημαντική ανακάλυψη των ηλιακών ηλεκτρικών τεχνολογιών, καθώς μειώνει το κόστος της αρχικής επένδυσης.Δύο έργα που επιδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Solgas που προωθείται από την SODEAN και το COLON SOLAR που προωθείται από την ισπανική εταιρεία Sevillana, εισήγαγε στην αγορά την ενσωμάτωση των δεκτών κορεσμένου ατμού σε συστήματα συμπαραγωγής των συνδυασμένων κύκλων.

Το μέγεθος του δέκτη έχει βελτιστοποιηθεί για την παροχή 21,8 MWt με υγρό σε 135 bar και 332.8 °C θερμοκρασία εξόδου. Το υποσύστημα συλλέκτη αποτελείται από 489 ηλιοστάτες (το καθένα με 70-m^2 αντανακλαστική επιφάνεια) και 109 m πύργο. Όπως παρατηρείται στον πίνακα 11, η χρήση των δεκτών χαμηλής θερμοκρασίας και μεταβαλλόμενων φάσεων κορεσμένου ατμού παράγει μια πολύ υψηλότερη θερμική απόδοση έως και 92% στο ονομαστικό φορτίο. Ο πίνακας 2 δείχνει μια θεωρητική σύγκριση μεταξύ ενός τυπικού ογκομετρικού αερόψυκτου δέκτη με λειτουργία σε αέρα στους 700°C θερμοκρασίας εξόδου και ενός δέκτη κορεσμένου ατμού στους 250°C. Και οι δύο δέκτες έχουν ισχύ 45 MW.

Η ενσωμάτωση πύργου ενέργειας σε υφιστάμενες μονάδες παραγωγής συνδυασμένου κύκλου μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στους ηλιοστάτες , δεδομένου ότι το ηλικακό πεδίο χρησιμοποιεί χώρους κοντά σε αγωγούς φυσικού αερίου και βιομηχανικές περιοχές.Η γη είναι αναγκαίο μερίδιο του κόστους των εγκαταστάσεων και οι τοπικοί περιορισμοί οδηγούν στην

βελτιστοποίηση της διάταξης και σε μεταγενέστερα προβλήματα οπτικής απόδοσης. Αυτή ήταν η περίπτωση του ηλιοστάτη COLON που αντιπροσώπευε μια πραγματική πρόκληση σχεδιασμού λόγω των σημαντικών περιορισμών που επιβάλλονταν από το διαθέσιμο χώρο.

Το υβριδικό ηλιακό σύστημα φυσικού αερίου προβλέπει ότι το κόστος παραγωγής ηλιακής θα είναι κάτω από τα $ 0.11/kWh και το ετήσιο ηλιακό μερίδιο από 8-15%. Η έλλειψη στήριξης για τις υβριδικές ηλιακές θερμικές μονάδες στην Ισπανία την εποχή εκείνη οδήγησαν στην ματαίωση του έργου. Η συνέχεια του COLON SOLAR έργου τελικά ήταν ένας σκέτος ηλιακός σταθμός με κορεσμένο ατμό, το PS10 (Planta Solar 10 MW).Το PS10 ήρθε ως συνέπεια του ισπανικού νομικού πλαισίου για την ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια, που εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2004.Το PS10 βρίσκεται στο ακίνητο Casa Quemada (37,2° γεωγραφικό πλάτος), 15 χλμ. δυτικά της Σεβίλλης, στην Ισπανία. Η μονάδα 11 MW σχεδιάστηκε για να επιτύχει ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 23 GWh, με κόστος επένδυσης μικρότερο των 3500 €/kW. Το έργο έκανε χρήση των διαθέσιμων, καλά δοκιμασμένων τεχνολογιών , όπως οι μεταλλικοί-γυαλινοι ηλιοστάτες που αναπτύχθηκαν από την Ισπανική INABENSA και ο δέκτης κορεσμένου ατμού που αναπτύχθηκε από την TECNICAL για την παραγωγή ατμού σε 40 bar και 250°C .

Πίνακας 11: Σύγκριση των θερμικών απωλειών και της αποδοτικότητας των ογκομετρικών και κορεσμένων δεκτών ατμού για το PS10

Losses	Air (%)	Steam (%)
Reflection	7.9	2.0
Radiation	8.6	0.8
Convection	0.0	2.6
Spillage	5.0	2.1
Air return	3.7	0.0
Total efficiency	74.8	92.4

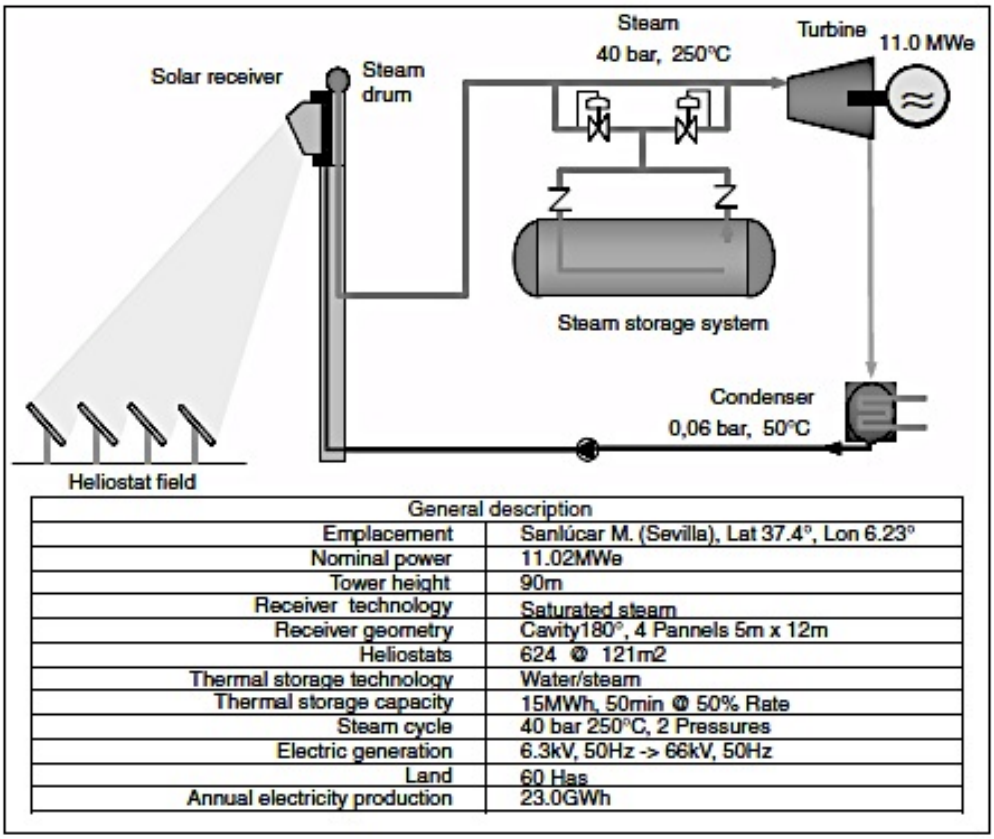
Ο σταθμός είναι ένα σκέτο ηλιακό σύστημα με αποθήκευση θερμότητας κορεσμένου ατμού ικανή να παρέχει 50 λεπτά λειτουργίας σε φορτίο 50%. Το σύστημα κάνει χρήση 624121 m^2 ηλιοστατών, οι οποίοι διανέμονται σε ένα πεδίο βόρειας διαμόρφωσης, με 90 τ.μ. υψηλό πύργο, θερμικού συστήματος αποθήκευσης 15 MWh και με δέκτη κοιλότητας με τέσσερα 4,8 X 12 m^2 σωληνοειδή πάνελ.

Το βασικό διάγραμμα ροής του PS10 παρουσιάζεται στο Σχήμα 42. Αν και το σύστημα κάνει χρήση ενός κορεσμένου ατμοστρόβιλου που εργάζεται σε εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία, η ονομαστική απόδοση του 30,7% είναι σχετικά καλή. Αυτή η απόδοση είναι το αποτέλεσμα της βελτιστοποιημένης διαχείρισης της θερμότητας που εκλύεται στον θερμοδυναμικό κύκλο. Στην έξοδο της γεννήτριας, ο ατμός αποστέλλεται σε ένα συμπυκνωτή υδρόψυκτο, που εργάζεται στα 0,06 bar. Η έξοδος συμπυκνωτή προθερμαίνεται με 0,8 και 16 bar ατμού από την τουρμπίνα. Η έξοδος του πρώτου προθερμαντήρεα αποστέλλεται στο εξαεριστικό που τροφοδοτείται με ατμό που προέρχεται και πάλι από την τουρμπίνα. Ένας διαχωριστής υγρασίας είναι τοποθετημένος μεταξύ του τμήματος της ανεμογεννήτριας υψηλής και χαμηλής πίεσης ώστε να αυξήσει την ποιότητα ατμού στα τελευταία στάδια της επέκτασης.

Πίνακας 12: Ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο για το εργοστάσιο PS10 σε ονομαστικούς όρους

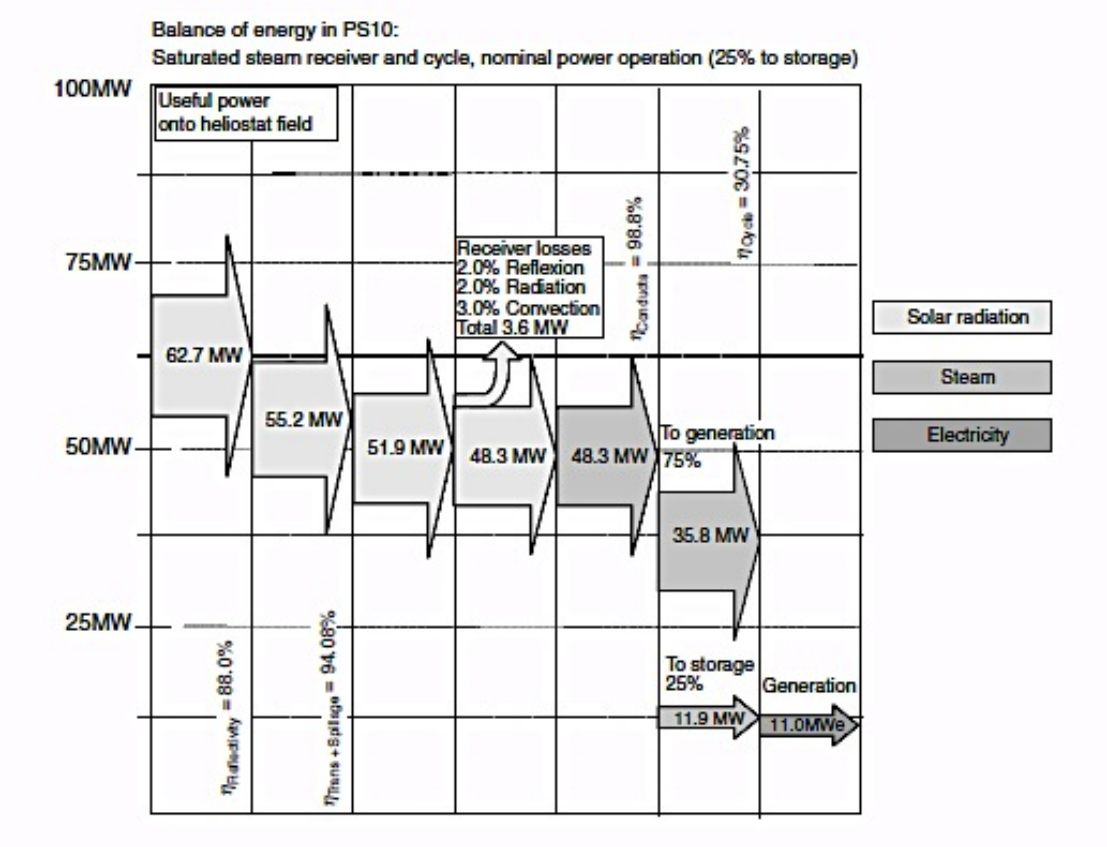
Nominal Rate Operation		
Optical efficiency	77.0%	67.5 MW→51.9 MW
Receiver and heat handling efficiency	92.0%	51.9 MW→47.7 MW
Thermal power to storage		11.9 MW
Thermal power to turbine		35.8 MW
Thermal pow. → electric pow. efficiency	30.7%	35.8 MW→11.0 MW
Total efficiency at nominal rate	21.7%	
Energetical balance in annual basis		
Mean annual optical efficiency	64.0%	148.63 GWh(useful)→95.12 GWh
Mean annual receiver & heat handling efficiency	90.2%	95.12 GWh→85.80 GWh
Operational efficiency (starts up/stops)	92.0%	85.80 GWh→78.94 GWh
Operational efficiency (breakages, O&M)	95.0%	78.94 GWh→75.00 GWh
Mean annual thermal ener. → electric efficiency	30.6%	75.00 GWh→23.0 GWh
Total annual efficiency	15.4%	

Ένας τρίτος και τελευταίος προθερμαντήρας τροφοδοτούμενος με ατμό από το δέκτη αυξάνει την θερμοκρασία του νερού στους 245°C. Όταν αναμιγνύεται με νερό που επιστρέφει από το τύμπανο,η υδροδότηση στους 247°C του δέκτη



General description	
Emplacement	Sanlúcar M. (Sevilla), Lat 37.4°, Lon 6.23°
Nominal power	11.02MWe
Tower height	90m
Receiver technology	Saturated steam
Receiver geometry	Cavity180°, 4 Pannels 5m x 12m
Heliostats	624 @ 121m2
Thermal storage technology	Water/steam
Thermal storage capacity	15MWh, 50min @ 50% Rate
Steam cycle	40 bar 250°C, 2 Pressures
Electric generation	6.3kV, 50Hz -> 66kV, 50Hz
Land	60 Has
Annual electricity production	23.0GWh

Σχήμα 42: Βασικό σύστημα ηλιακού θερμικού σταθμού PS10 με κορεσμένο ατμό ως θερμικό ρευστό



Σχήμα 43: Ενεργειακή διαδοχή για υποσυστήματα PS10

επιτυγχάνεται. Όπως συνοψίζεται στον πίνακα 12, ο συνδυασμός των οπτικών, του δέκτη, και των αποδόσεων του μπλοκ ισχύος οδηγεί σε μια συνολική ονομαστική απόδοση στο σημείο σχεδιασμού 21,7%. Η συνολική ετήσια απόδοση μειώνεται στο 15,4%, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργικών ζημιών και διακοπών. Το υποσύστημα της ενεργειακής απόδοσης, όπως και σε κάθε ηλιακή θερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας, μπορεί να προβληθεί με ένα διάγραμμα αλληλουχίας ενέργειας , όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 43. Το PS10 είναι ένα ορόσημο στη διαδικασία ανάπτυξης των CRS, διότι ήταν το πρώτο εργοστάσιο ηλιακού πύργου ενέργειας αναπτυγμένο για εμπορική εκμετάλλευση.

3.8 Συστήματα Λιωμένου Αλατιού: Solar Two

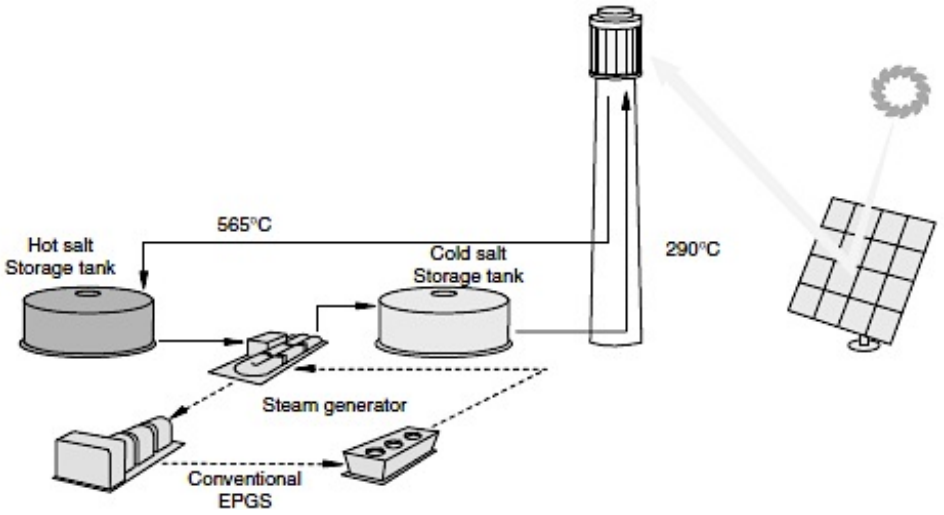
Η πιλωτική μονάδα Solar One απέδειξε με επιτυχία τη λειτουργία του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με κλιμακωτό πύργο.Το Solar One θέρμαινε υποψυκτο νερό σε υπέρθερμο ατμό, ο οποίος οδηγούταν σε ένα στρόβιλο. Ο υπέρθερμος ατμός επίσης χρησιμοποιούνταν για να φορτίσει ένα θερμοκλινές σύστημα αποθήκευσης.

Ο Solar One λειτουργούσε για 6 χρόνια ,από το 1982 έως 1988, τα τρία τελευταία από τα οποία διατέθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και ο Solar One έχει αποδείξει σαφώς την λειτουργικότητα του πύργου

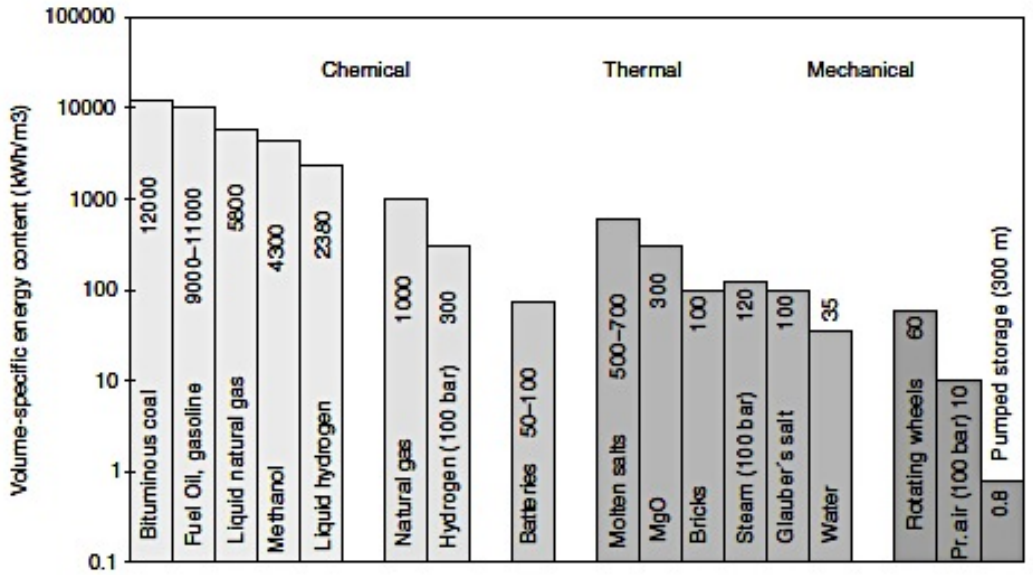
ισχύος,το σύστημα θερμικής αποθήκευσης είναι ανεπαρκές για τη λειτουργία του στροβίλου στη μέγιστη αποδοτικότητα, επειδή το αποθηκευτικό σύστημα λειτουργεί μόνο μεταξύ 220 °C και 305 ° C, ενώ στην έξοδο του δέκτη η θερμοκρασία ήταν 510°C. Ο κύριος τρόπος λειτουργίας ήταν άμεσα απο την έξοδο του δέκτη στην είσοδο της τουρμπίνας, παρακάμπτοντας το σύστημα θερμικής αποθήκευσης, φύλαξης και βοηθητικού ατμού κατά τη διάρκεια των μη συνδεδεμένων περιόδων.

Για τους υψηλούς ετήσιούς παράγοντες ικανότητας, οι ηλιακοί σταθμοί πρέπει να έχουν ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα θερμικής αποθήκευσης. Ένα τέτοιο σύστημα θερμικής αποθήκευσης χρησιμοποιεί τηγμένο νιτρικό αλάτι.Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί , το εύρος λειτουργίας του νιτρικού λιωμένου άλατος(ένα μείγμα νιτρικού νατρίου 60% και 40% νιτρικό κάλιο)πρέπει να ταιριάζει με τις θερμοκρασίες λειτουργίας των σύγχρονων ανεμογεννήτριων του κύκλου Rankine. Σε ένα σταθμό πύργου λιωμένου αλατιού, το ψυχρό αλάτι στους 290°C αντλείται από μια δεξαμενή στο επίπεδο του εδάφους με το δέκτη τοποθετημένο στην κορυφή ενός πύργου όπου θερμαίνεται από την συμπικνωμένη ηλιακή ακτινοβολία στους 565 °C .Το αλάτι ρέει πίσω στο επίπεδο του εδάφους σε μια άλλη δεξαμενή. Για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το ζεστό αλάτι αντλείται από τη δεξαμενή ζεστού μέσω μιας γεννήτριας ατμού για να παράξει υπέρθερμο ατμό. Οι υπέρθερμο ατμός κινεί μια τουρμπίνα κύκλου Rankine .Ένα διάγραμμα του πύργου ισχύος τηγμένου άλατος φαίνεται στο Σχήμα 44. Ο συλλέκτης πεδίου μπορεί να πάρει μέγεθος ώστε να συγκεντρώσει περισσότερη δύναμη από ό, τι απαιτείται από το σύστημα γεννήτριας ατμού, και το αλλάτι που περισεύει συσσωρεύεται στο καυτό βυτίο.Με αυτον τον τρόπο της αποθήκευσης οι πύργοι κατασκευάζονται με ετήσια ικανότητα μέχρι 70%.

Καθώς το λιωμένο αλάτι έχει μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας ανά όγκο (500-700 kWh/m^3), όπως φαίνεται στο Σχήμα 45 είναι ιδανικό για τα συστήματα ηλιακής-θερμικής παραγωγης ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη χωρητικότητα. Ακόμα κι αν τα νιτρικά άλατα έχουν χαμηλότερη ειδική θερμοχωρητικότητα κατ 'όγκο από τα ανθρακικά άλατα, αποθηκεύουν 250 kWh/m^3. Η μέση θερμική αγωγιμότητα των νιτρικών αλάτων είναι 0,52W/mK και η θερμική ισχύς τους είναι περίπου 1,6 kJ/kgK. Τα νιτρικά άλατα είναι μια φθηνή λύση για την αποθήκευση μεγάλων συστημάτων. Το κόστος του υλικού είναι $ 0.70/kg ή $5.20/kWht. Οι εκτιμήσεις για τα μεγάλα συστήματα είναι της τάξης των $ 13/kWht.



Σχήμα 44: Γραφική απεικόνιση ενός κεντρικού δέκτη λιωμένου αλατιού με κυλινδρικό σωληνωτό δέκτη.



Σχήμα 45: Σύγκριση του όγκου χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας για αρκετά χημικά, θερμικά και μηχανικά μέσα

Αρκετά πειράματα επίδειξης και ανάπτυξης πύργων λιωμένου αλατιού έχουν διεξαχθεί στις προηγούμενες δυόμισι δεκαετίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη. Ο μεγαλύτερος πύργος ισχύος τηγμένου άλατος ήταν το Solar Two, ένας πύργος 10 MW που βρίσκεται κοντα στο Barstow, Καλιφόρνια. Μια εικόνα του Solar Two φαίνεται στο Σχήμα 46.

Σχήμα 46: Εναέρια προβολή του Solar Two στο Barstow της Καλιφόρνια. Ο κυλινδρικός 42-MW δέκτης εμφανίζεται φωτεινός. Οι δεξαμενές αποθήκευσης θερμού και ψυχρού λιωμένου αλατιού βρίσκονται κοντά στον πύργο

Ο σκοπός του έργου Solar Two ήταν να επιβεβαιώσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη λιωμένου αλατιού, την αποθήκευση θερμότητας και τις τεχνολογίες της γεννήτριας ατμού και να βελτιώσει την ακρίβεια των οικονομικών προβλέψεων για τα εμπορικά έργα αυξάνοντας το κεφάλαιο λειτουργίας και συντήρησης της βάσης κόστους καθώς και η διανομή πληροφοριών σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας της βιομηχανίας ηλιακής ενέργειας για την προώθηση ενός ευρύτερου ενδιαφέροντος στην πρώτη εμπορικές εγκαταστάση. Το Solar Two εργοστάσιο χτίστηκε στο ίδιο σημείο με την πιλοτική μονάδα Solar One και επαναχρησιμοποιησε ένα μεγάλο μέρος του υλικού, συμπεριλαμβανομένου του συλλέκτη ηλιοστατών, τη δομή του πύργου, και τις τουρμπίνες 10 MW. Ένα νέο , 110 MWht δύο-δεξαμενών, θερμικό σύστημα αποθήκευσης λιωμένου αλατιού εγκαταστήθηκε καθώς και ένας νέος δέκτης 42 MWt, μια 35 MWt γεννήτρια ατμού (535°C, 100 bar) και ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου.

Το εργοστάσιο άρχισε να λειτουργεί τον Ιούνιο του 1996. Το έργο απέδειξε με επιτυχία τη δυνατότητα της τεχνολογίας νιτρικού άλατος. Ορισμένα από τα βασικά αποτελέσματα ήταν: η απόδοση δέκτη μετρήθηκε στο 88%, το σύστημα θερμικής αποθήκευσης είχε απόδοση άνω του 97%, και η αποδοτικότητα της τουρμπίνας του κύκλου Rankine ήταν 34%, τα οποία ταιριάζουν στις προβλέψεις της απόδοσης του. Η απόδοση του πεδίου συλλέκτη ήταν μικρότερη από την αναμενόμενη, κυρίως λόγω της χαμηλής διαθεσιμότητας των ηλιοστατών (85-95% έναντι 98% αναμενόμενης) και της υποβάθμισης του επιφάνειας του κατόπτρου,. Τα περισοτερα προβλήματα του ηλιοστάτη αποδόθηκαν στο γεγονός ότι το πεδίο ηλιοστάτη ήταν σε αδράνεια και ασυντήρητο για έξι χρόνια μετά το κλείσιμο του Solar One .Η συνολική μέγιστη αποδοτικότητα μετατροπής του εργοστασίου μετρήθηκε στο 13,5%. Το εργοστάσιο απόδειξε επιτυχώς την ικανότητά του να παραγει ηλεκτρική ενέργεια ανεξάρτητα από την ηλιακή συλλογή.

Επειδή το Solar Two ήταν ένα έργο επίδειξης και ήταν αρκετά μικρή συμβατική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας, δεν θα μπορούσε να ανταγωνιστεί οικονομικά με την ηλεκτροπαραγωγή καύσης ορυκτών μονάδων χωρίς ειδικές επιδοτήσεις.
Οι σκέτες ηλιακές εμπορικές εγκαταστάσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερες για να επωφεληθούν από τις οικονομίες κλίμακας και για αποδοτικότερα σχέδια. Για να μειωθούν οι κίνδυνοι που συνδέονται με το υλικό κλιμάκωσης, ο πρώτος εμπορικός πύργος λιωμένου αλατιού πρέπει να είναι περίπου τρεις φορές το μέγεθος του Solar Two. Μια προσπάθεια για εξέλιξη της τεχνολογίας λιωμένου αλατιού είναι το Solar Tres που προωθείται από την ισπανική εταιρεία SENER (Πίνακας 13) και εν μέρει χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το κόστος της επένδυσης που προβλέπεται για το Solar Tres είναι 147 εκατομμύρια Ευρώ. Ο σχεδιασμός του βελτιώνει αποτελεσματικά την μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις απαιτούμενες επενδύσεις. Με μόνο 17 MWe, το εργοστάσιο αναμένεται για την παραγωγή 105 GWhe/έτος. Η μονάδα είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο το καλοκαίρι, οδηγώντας σε ένα ετήσιο συντελεστή δυναμικού του 71%. Τα ορυκτά ασφαλείας που αντιστοιχούν στο 15% της ετήσιας παραγωγής θα προστεθούν. Το κόστος της ενέργειας εκτιμάται ότι θα είναι περίπου $ 0.16/kWh.

Πίνακας 13 : Τεχνικές προδιαγραφές και απόδοση σχεδιασμού του Solar Tres

Technical Specifications	
Heliostat field reflectant surface	264,825 m^2
Number heliostats	2750
Land area	142.31 Ha
Receiver thermal power	120 MWt
Tower height	120 m
Heat storage capacity	15 h
Power at turbine	17 MWe
Power NG burner	16 MWt
Operation	
Solar irradiance onto heliostats	2062 kWh/m^2
Electricity dispatched	105,566 MWhe
Production from fossil (annual)	15%
Capacity factor	71%

3.9 Ογκομετρικοί Ατμοσφαιρικοί Δέκτες:PHOEBUS και Solair

Η χρήση του αέρα ως ρευστό λειτουργίας στα CRS έχει αποδειχθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η επιλογή του αέρα βασίζεται σε εγγενή πλεονεκτήματα, όπως η διαθεσιμότητα τους από το περιβάλλον, τα φιλικά προς το περιβάλλον χαρακτηριστικά,η έλειψη της ενοχλητικής αλλαγής φάσης, οι υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, η εύκολη λειτουργία και συντήρηση, καθώς και η υψηλή διαθεσιμότητα.
Αρκετές πρωτοβουλίες μετατοπίζονται σε αερόψυκτους δέκτες, μετά τα προβλήματα λειτουργίας που προσδιορίζονται στην παραγωγή υπέρθερμου ατμού στα CRS όπως το Solar One, το CESA-I ή το Eurelios. Το γερμανο-ισπανικό σχέδιο που ονομάζεται GAST και συντονίζεται από την Interatom και τις Asinel Companies πρότεινε την κατασκευή ενός 20MW σταθμού στη νότια

Ισπανία, χρησιμοποιώντας ένα πάνελ σωλήνα με αερόψυκτο δέκτη . Πολλά τμήματα του σταθμού , όπως οι ηλιοστάτες και τα πάνελ του δέκτη, δοκιμάστηκαν στο PSA.Ειδικότερα, ένας δέκτης με μεταλλικό σωλήνα το 1985-1986, παρήγαγε θερμό αέρα 2,45 kg/s σε 9,5 bar και θερμοκρασία εξόδου 800°C. Μια δεύτερη ομάδα με κεραμικούς αγωγούς SiC δοκιμάστηκε το 1987, με ρυθμό ροής μάζας των 0,48 kg/s σε 9,3 bar και 1000°C.

Πίνακας 14: Παράμετροι σχεδιασμού για ένα ηλικακο εργοστάσιο 10-MW

Annual irradiation [kWh/m^2]		2063
Design point day		355 (noon)
Design point irradiance [W/m^2]		860
Design point power [MWe]		10
Solar multiple/heat storage capacity [MWh]		1.15/18
Tower height [m]		90
Number heliostats/heliostat reflective surface [m^2]		981/91
Annual average heliostat reflectivity		0.90
Focal length [m]		500
Receiver shape		Half cylinder
Receiver diameter [m]/receiver height [m]		10.5/10.5
	Design Point	Annual Balance
Power/energy onto reflective surface	75.88 MW	183.50 GWh
Heliostat field optic efficiency	0.729	0.647
Gross power/energy onto receiver	55.27 MW	118.72 GWh
Receiver and air circuit efficiency	0.740	0.614
Power/energy to working fluid	40.92 MW	72.90 GWh
Power/energy to storage	5.34 MW	
Power/energy to turbine	35.58 MW	72.90 GWh
Thermal → Electric Efficiency	0.309	0.303
Gross electric power/energy	11.00 MW	22.09 GWh
Parasitic losses	1.00 MW	2.89 GWh
Net electric power/energy	10.00 MW	19.20 GWh

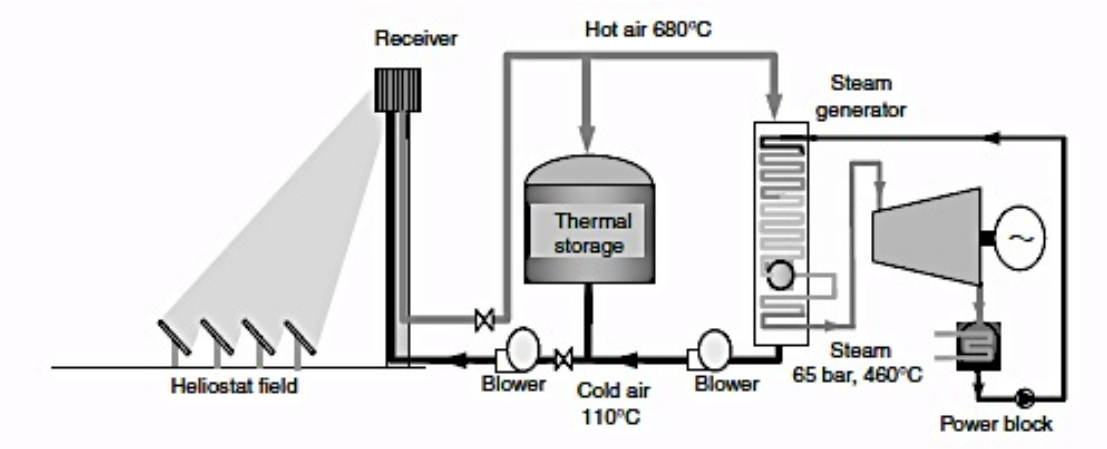
Η εκτιμώμενη επένδυση υψηλού κόστους και η χαμηλή ηλιακή ροή που δεχόταν οι σωλήνες (λιγότερο από 200 kW/m^2), έκανε αδύνατη την συνέχιση του εργοστασίου.

Με την έλευση των ογκομετρικών δεκτών, το ενδιαφέρον για τους αερόψυκτους ηλιακούς πύργους ανανεώθηκε. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των εξετασθέντων ογκομετρικών πρωτοτύπων απέδειξε τη σκοπιμότητα της παραγωγής ζεστού αέρα σε θερμοκρασίες 1000 °C. και πάνω και σε περιοχές διάφραγματος παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε λιωμένο άλας ή σε δέκτες νερού/ατμού .Μια μέση ροή 400 kW/m^2 και μια κορύφωση των 1000 kW/m^2 έχουν αποδειχθεί, ενώ η χαμηλή αδράνεια και η γρήγορη προσαρμοστικότητα παρακολούθησης του ήλιου είναι άριστες. Ακόμα κι αν μεγάλες εμπειρίες λείπουν, ακόμα αν οι απώλειες ακτινοβολίας πρέπει να να μειωθούν περαιτέρω και οι αναλογίες αέρα επανακυκλοφορίας στους ανοικτούς σχεδιασμούς θα πρέπει να βελτιωθούν, πολλοί σταθμοί έχουν προωθηθεί τα τελευταία 15 χρόνια.

Η πρώτη μελέτη CRS εργοστασίου ηλιακής ενέργειας με ατμοσφαιρικό κύκλωμα μεταφοράς θερμότητας του αέρα ήταν η METAROZ στις Ελβετικές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1980 , ακολουθούμενη από μια δεύτερη μελέτη που εκπονήθηκε από την Ελβετική Κοινοπραξία Sotel. Αυτές οι

πρωτοποριακές μελέτες έθεσαν τα θεμέλια για αυτό που αργότερα ονομάστηκε PHOEBUS σύστημα στο οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται μέσω ενός μεταλλικού δέκτη σε θερμοκρασίες της τάξης των 700°C. και χρησιμοποείται για την παραγωγή ατμού στους 480-540°C και πίεσης στα 35-140 bar, σε μια γεννήτρια ανάκτησης θερμότητας ατμού, με χωριστό υπερθερμαντή, αναθερμαντήρα, βραστήρα, τμήματα τροφοδότησης και μιας Rankine τουρμπίνας-γεννήτριας του συστήματος.

Το σύστημα PHOEBUS ενσωματώνει αρκετές ώρες ισοδύναμες των κεραμικών θερμοκλινών θερμικής αποθήκευσης που είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε φόρτιση και αποφόρτιση αντιστρέφοντας την ροή του αέρα με δύο αξονικούς ανεμιστήρες. Οι σημερινοί περιορισμοί ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας οδηγούν σε σχέδια με έναν περιορισμένο αριθμό ωρών (μεταξύ 3 και 6 ώρες κατ 'ανώτατο όριο), και ως εκ τούτου, για την υψηλότερη ετήσια ικανότητα, υβριδικά σχέδια με εφεδρικό καυστήρα έχουν προταθεί.



Σχήμα 47: Διάγραμμα επεξεργασίας ροής ενός σταθμού ηλιακού υπαίθριου ογκομετρικού δέκτη 10-MW

Το 1986, στο πλαίσιο μιας προτωβουλίας της Sotel-DLR, ξεκίνησε η μελέτη μιας μονάδας 30 MW για την Ιορδανία. Η κοινοπραξία PHOEBUS συγκροτήθηκε από εταιρείες από τη Γερμανία, την Ελβετία, την Ισπανία και τις ΗΠΑ και μια μελέτη σκοπιμότητας ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο 1990.Δυστυχώς, το έργο δεν ήταν σε θέση να αποκτήσει τις απαραίτητες επιχορηγήσεις και την οικονομική στήριξη και δεν χτίστηκε ποτέ.

Ένας 25 MWt δέκτης αέρα που περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο του σταθμού PHOEBUS ο οποίος περιλαμβάνει ανακυκλοφορία βρόχου αέρα, θερμική αποθήκευση, και γεννήτρια ατμού χρησιμοποιήθηκε στην κορυφή του πύργου της CESA-1 στην PSA στην Ισπανία στο τέλος του 1991.

Η μονάδα λειτούργησε με επιτυχία από την DLR και CIEMAT για σχεδόν 400 ώρες μεταξύ του Απριλίου και Δεκεμβρίου 1993, και για μικρότερο χρονικό διάστημα από το 1994 ως το 1999, αποδεικνύοντας ότι η θερμοκρασία εξόδου του δέκτη700°C θα μπορούσε εύκολα να επιτευχθεί μέσα σε 20 λεπτά από την εκκίνηση της εγκατάστασης.

Κατά τη φάση ανάπτυξης του έργου PS10 που περιγράφεται παραπάνω, ένας σχεδιασμός έγινε για να αναλύσει τις δυνατότητες χρήσης μιας εμπορικής εγκαταστάσης 10 MW που χρησιμοποιούσε τεχνολογία τύπου PHOEBUS. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι σήμερα η πιο αξιόπιστη πληροφορία για την αξιολόγηση της χρήσης των υπαίθριων ογκομετρικών δέκτών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα χαρακτηριστικά απόδοσης συνοψίζονται στο σχήμα 47 και στον πίνακα 14. Ο αριστερός φυσητήρας ρυθμίζει τον αέρα μέσα από τον δέκτη και ο δεξιός στην γεννήτρια ατμού. Ο δέκτης θερμοκρασίας στην είσοδο είναι 110°C και στην έξοδο 680°C.

Η αποθήκευση θερμότητας δεν έχει υψηλό τεχνικό κίνδυνο. Πρόκειται για μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στις υψικαμίνους και άλλες βιομηχανίες, όπως το τσιμέντο ή τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, για την ανάκτηση θερμότητας από στοίβες αποβλήτων.Τα σφαιρίδια αλουμινίου έχουν αποδείξει ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα στις θερμοκλινες και την κλίση της θερμοκρασίας στο κεραμικό σύστημα του 1000 kWht έργου TSA .

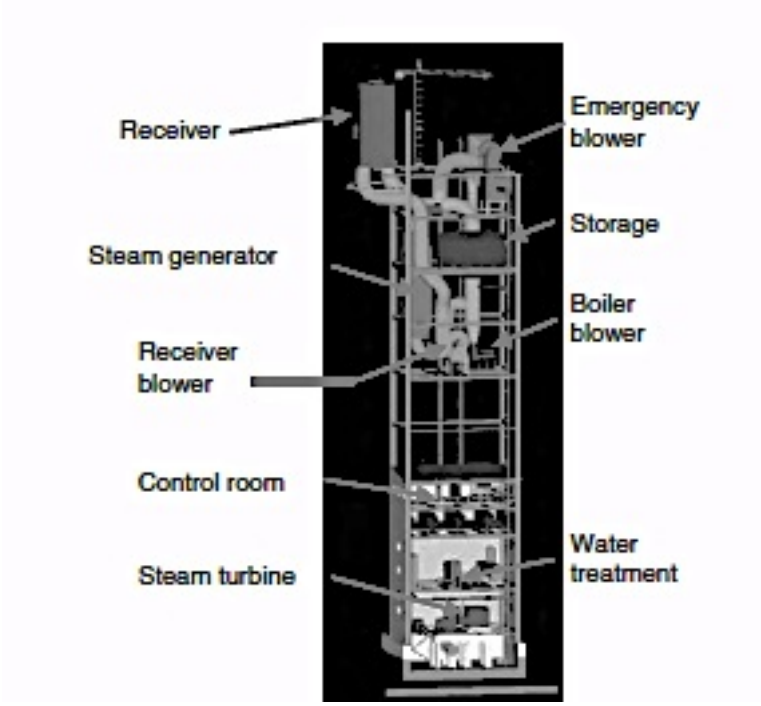
Η γεννήτρια ατμού είναι τύπου δέσμης σωλήνων με φυσική κυκλοφορία. Ατμός (10,73 kg/s) παράγεται στούς 460°C και 65 bar Η γεννήτρια τουρμπίνας παράγει 11 MWe ακαθάριστα και 10 MWe καθαρά με απόδοση 30%.

Οι παραμετρικές αναλύσεις έδειξαν ότι είναι δυνατόν να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα σχετικά οικονομικό σύστημα αποθήκευσης, με βάση το AL_2O_3 κεραμικο αποθήκευσης. Το μέγεθος του σύστηματος αποθήκευσης θερμότητας έχει μειωθεί κατά μισή ώρα (18 MWh συνολική χωρητικότητα με μια χρήσιμη ικανότητα αποθήκευσης 14,4 MWh).

Συμπαγή σχέδια απαιτούνται για να αποφευχθούν οι μεγάλεοι αεραγωγοί. Ένα παράδειγμα για το πώς ο βρόχος αέρα είναι ενσωματωμένος στον ηλιακό πύργο φαίνεται στο Σχήμα 48.

Αν και οι αερόψυκτοι ανοικτοί ογκομετρικοί δέκτες είναι ένας πολλά υποσχόμενος τρόπος παραγωγής υπέρθερμου ατμού , η μικρή θερμική απόδοση (74% της ονομαστικής αξίας και 61,4% σε ετήσια βάση κατά μέσο όρο) θα πρέπει ακόμη να βελτιωθούν.

Προς το παρόν όλα τα οφέλη από τη χρήση υψηλότερων θερμοκρασιών εξόδου θυσιάζονται από τις απώλειες ακτινοβολίας στο δέκτη, που οδηγεί σε χαμηλή ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε είναι σαφές ότι βελτιώσεις του ογκομετρικού δέκτη πρέπει να μειώσουν τις απώλειες.



Σχήμα 48: Συμπαγής σχεδίαση του δέκτη, βρόχος αέρα και λέβητας παραγωγής ατμού για ένα 10-MW σταθμό που πραγματοποιήθηκε από την γερμανική εταιρεία KAM για την Abengoa, κατά τη διάρκεια της μελέτης βιωσιμότητας

3.10 Ηλιακά Συστήματα προθέρμανσης : Το Έργο SOLGATE

Διοχετευοντας την ηλιακή ενέργεια σε αεριοστροβίλους συνδυασμένου κύκλου (Combined Cycles (CC)) έχουμε σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους υβριδικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Ένας πολύ ελπιδοφόρος τρόπος για να το κάνουμε είναι η ηλιακή προθέρμανση του αεροσυμπιεστή απαλλαγής πριν από την είσοδο του στον καυστήρα αεριοστροβίλων. Ένα διάγραμμα εμφανίζεται στο Σχήμα 49.

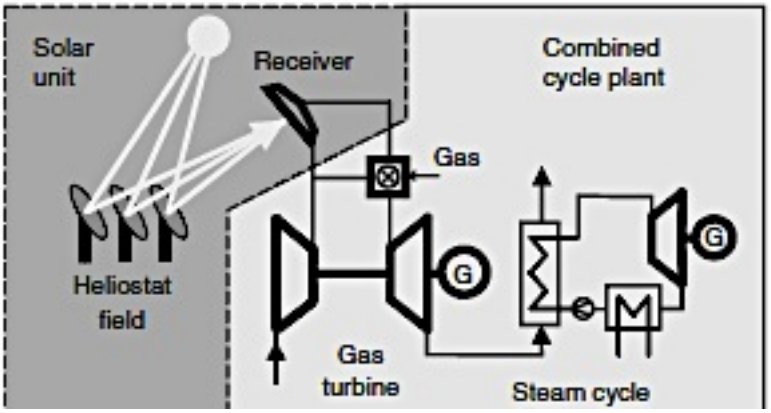
Η ηλιακή προθέρμανση του αέρα προσφέρει ανώτερες επιδόσεις, καθώς η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από το θερμό αέρα μετατρέπεται άμεσα με υψηλή απόδοση σε εργοστάσιο CC. Για ένα ορισμένο σύστημα αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του μεγέθους του πεδίου του ηλιοστάτη και, συνεπώς χαμηλότερο συνολικό κόστος επένδυσης για το ηλιακό μέρος σε σύγκριση με την ηλιακή παραγωγή ατμού. Η ηλιακή προθέρμανση του αέρα έχει μεγάλες δυνατότητες για μείωση του κόστους της ηλιακής θερμικής ενέργειας.

Επιπλέον, η έννοια αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα των επιπέδων ισχύος (1-100MWe). Σε χαμηλότερα επιπεδα ισχύος,υψηλής απόδοσης θερμότητας κύκλοι τουρμπίνας ανάκτησης αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί του CC. Το ηλιακό πεδίο μπορεί να επιλεγεί αρκετά ευέλικτα, ως προς τη θερμοκρασία εξόδου του δέκτη, η οποία θα μπορούσε να είναι σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με άλλα υβριδικά συστήματα (π.χ., ISCCS με παραβολικά κοίλα).

Ο αέρας μπορεί να προθερμαίνεται από ηλιακούς δέκτες λιωμένου αλατιού(έως 560 °C)ή από δέκτες ογκομετρικής πίεσης στους οποίους, λόγω του

περιορισμένου μεγέθους του παραθύρου από χαλαζία, μια σειρά από ενότητες δεκτών τοποθετούνται πάνω στον πύργο. Κάθε ενότητα αποτελείται από ένα δέκτη πίεσης με δεύτερο συγκεντρωτή μπροστά. Ο δευτεροβάθμιος συγκεντρωτής με ένα εξαγωνικό διάφραγμα (που βρίσκεται στο εστιακό επίπεδο του τομέα του ηλιοστάτη) ανασυγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στο άνοιγμα του δοχείου πίεσης. Αφού περασει μέσα από το παράθυρο, η ακτινοβολία απορροφάται από τον ογκομετρικό απορροφητήρα, που μεταφέρει τη θερμότητα στο ρεύμα αέρα που ρέει μέσα από αυτό. Η ισχύς αναβαθμίζεται με την εγκατάσταση πολλών μονάδων σε κυψελωτό σχηματισμό για να καλύψει ολόκληρο το εστιακό σημείο.

Στη συνέχεια οι ενότητες αλληλοσυνδέονται παράλληλα σε μια σειριακή σύνδεση.

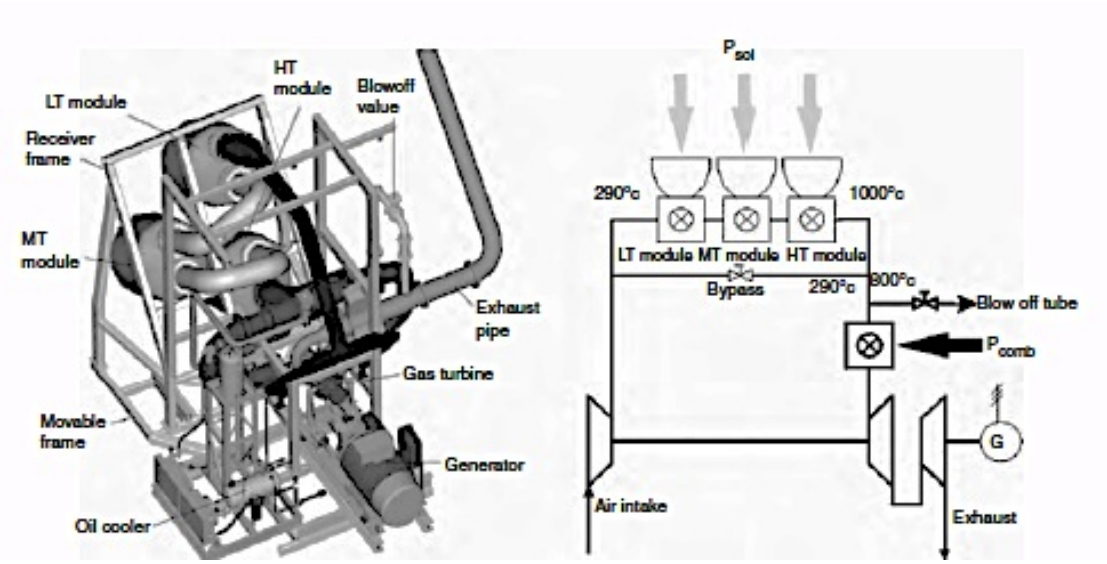


Σχήμα 49: Ηλιακή προθέρμανση αέρα για το σύστημα αεριοστροβίλων. (DLR, Γερμανία.)

Αυτή ήταν η διαμόρφωση που δοκιμάστηκε το 2001 σε ένα ευρωπαϊκό σχέδιο για την ενσωμάτωση των δεκτών με φυσικό αέριο στροβίλου σε ένα πλήρες ηλιακό υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής περίπου 250 kWe. Το έργο (που ονομάζεται SOLGATE) περιλάμβανε περαιτέρω αναπτυγμένη τεχνολογία δέκτη, ιδίως προκειμένου να αυξήσει την θερμοκρασία στους 1000 °C και να μειώσει το κόστος .Το σύστημα στήθηκε στην ηλιακή εγκατάσταση δοκιμών του πύργου CESA-1 στο PSA, της Ισπανίας, σε επίπεδο 60 m. Η διάταξη δοκιμής αποτελούταν από τρεις ενότητες δέκτη συνδεδεμένες σε σειρά, με κινητήρα ελικοπτέρου, με καυστήρα και γεννήτρια. Στο σύμπλεγμα του δέκτη, ο αέρας από τον συμπιεστή στροβίλου θερμαίνόταν από τους 290°C στους 1000 °C με ηλιακή ενέργεια (σχήμα 50). Μια παράκαμψη μείωνε την θερμοκρασία στους 800°C στην είσοδο του καυστήρα, λόγω των περιορισμών του σχεδιασμού του καυστήρα. Ο καυστήρας θα μπορούσε επίσης να τροφοδοτηθεί με φυσικό αέριο.

Για υψηλές θερμοκρασίες, ένα εξαιρετικά πορώδες κεραμικό SiC απορροφητήρα με μέγεθος πόρων 20 ppi χρησιμοποιήθηκε. Για τον λέβητα χαμηλής θερμοκρασίας ο στόχος ήταν να επιτευχθεί μια συνολική μείωση του κόστους στο χαμηλής θερμοκρασίας στάδιο λειτουργίας με τη χρησιμοποίηση απλών, λιγότερο δαπανηρών μονάδων.Η επιλογή ήταν ενα πηνίο που συνδέεται με τον εξαγωνικό δευτεροβάθμιο συγκεντρωτή, στον οποίο ο αέρας θερμαίνεται, καθώς ρέει μέσα από τους σωλήνες. Οι περιτυλιγμένοι σωλήνες του πηνίου

ήταν πολύ ευέλικτοι και έτσι μειόνωνταν οι μηχανικές καταπονήσεις θερμικής διαστολής του υλικού σωλήνα. Η τελική διάταξη αποτελούνταν από 16 2,3 m μήκους και 28 mm διαμέτρου σωλήνες που συνδέονταν παράλληλα .Σύμφωνα με τους υπολογισμούς σχεδιασμού, οι αποροφητήρες θα έπρεπε να είχαν μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 200 K και μια σχετική πτώση πίεσης 100 mbar.



Σχήμα 50: Δοκιμή της εγκατάστασης που χρησιμοποιείται από την SOLGATE όπου τρεις λειτουργικές μονάδες με θερμοκρασίας υψηλές ,μεσαίες και χαμηλές χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συμπιεσμένου αέρα σε 1000°C

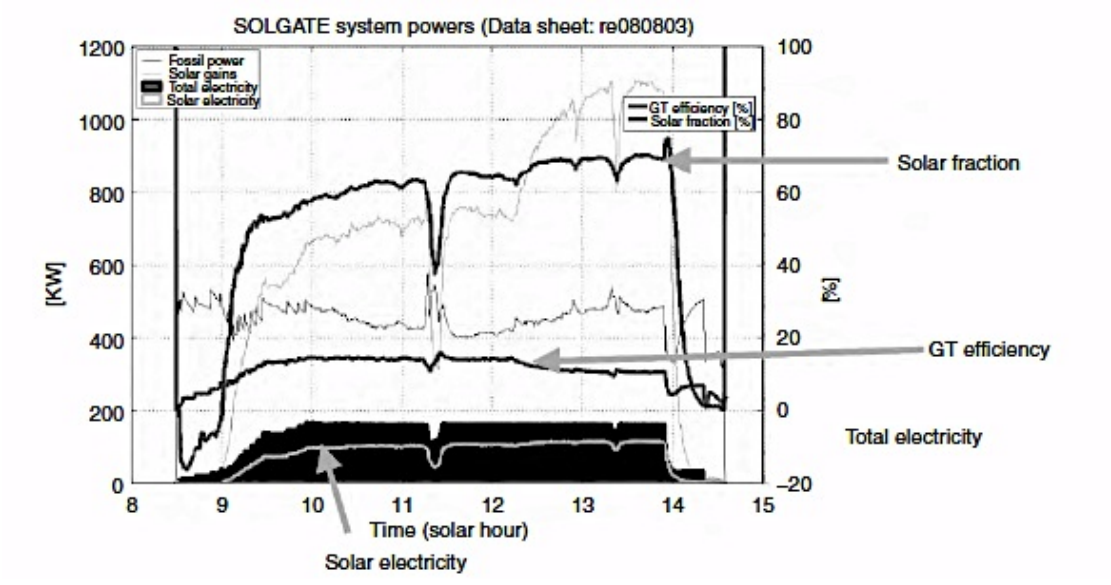
Μετά τον νεο κεραμικό απορροφητήρα, την εγκατάσταση του συστήματος ψύξης και το παράθυρο του σαρωτή IR,το σύστημα ξανάρχισε τη λειτουργία τον Ιούνιο του 2003. Η μέγιστη θερμοκρασία του δέκτη 960°C επιτεύχθηκε. Από τα πειραματικά δεδομένα η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της μονάδας του δέκτη είχαν προκύψει με βάση τις μετρήσεις της προσπίπτουσας ροής.

Η αποτελεσματικότητα κυμαίνονταν μεταξύ 68% και 79%. Η πτώση πίεσης, μέσω του συμπλέγματος του δέκτη ήταν περίπου 120 mbar. Τα ηλιακά κλάσματα έφθασαν το 70%, και το υπόλοιπο συνεισφοράς ήταν από τα καύσιμα.Η ηλιακή απόδοση του αεριοστροβίλου SOLGATE, στην ονομαστική λειτουργία των 230 kWe ήταν περίπου 20%. Η απόδοση του αερίου του συστήματος τουρμπίνας για τις συνθήκες σχεδιασμού φαίνεται στο Σχήμα 51. Η παραγωγή ενέργειας σε 960°C ήταν περίπου 190 kWe (130 kWe εκ των οποίων ήταν από την ηλιακή συνεισφορά). Η συνολική θερμική αποδοτικότητα του συμπλέγματος του δέκτη εκτιμάται οτι ήταν 77% σε 800°C και 70% σε 950°C.

Το ConSolar, ένα άλλο παρόμοιο σχέδιο, ξεκίνησε από μια ισραηλινή κοινοπραξία το 1995 και υποστηρίχθηκε από το ισραηλινό Υπουργείο Βιομηχανίας και Εμπορίου. Μέρος του έργου ήταν η ανάπτυξη της ανάκλασης πύργου που προορίζονταν για μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας με την εισαγωγή της ηλιακής ενέργειας σε αεριοστρόβιλους. Αυτή η έννοια πρόβλεπε ένα πρόσθετο κάτοπτρο στην κορυφή του πύργου, ο οποίος ανακατευθύνει την συμπυκνωμένη ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη που βρίσκεται στο έδαφος. Ο

δέκτης είναι επίσης μια σπονδυλωτή διάταξη των πεπιεσμένων μονάδων που είχαν δευτεροβάθμιους συγκεντρωτές μπροστά .Ο ογκομετρικός απορροφητής αποτελούνταν από λεπτές ψυχρές κεραμικές καρφίτσες.Σε ένα πρωτότυπο δέκτη 50 kWt, θερμοκρασίας μέχρι 1200 °C είχαμε πιέσεις έως 20 bar. Οι προβλέψεις κόστους δείχνουν πιθανές εφαρμογές ανταγωνιστικές στην πράσινη αγορά ενέργειας με LEC κάτω των 10 σεντ/kWh για ένα ισοδύναμο επίπεδο ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας των 12,6 MW.

Ωστόσο, για να αξιοποιηθούν στο έπακρο οιυψηλές αποδόσεις του συνδυασμένου κύκλου (μεγαλύτερες από 50%) τα επίπεδα ισχύος πρέπει να είναι άνω των 50 MWe.Αυτό σημαίνει ένα πολύ υψηλό κόστος επενδύσεων που δεν είναι ρεαλιστικό και εφικτό για την εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας. Στα επίπεδα ισχύος κάτω των 10 MWe, τα συστήματα τουρμπίνας φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμπαραγωγή θερμότητας ή ψύξη ισχύος. Πρώτες εκτιμήσεις του κόστους για τις εν λόγω μονάδες συμπαραγωγής έχουν αναδείξει δυνατότητες και προοπτικές για ηλιακές υβριδικές αεριοστροβιλικές μονάδες . Είναι ένα λογικό πρώτο βήμα για να αποδειχθεί η τεχνική και οικονομική εφικτότητα της τεχνολογίας για τη συμπαραγωγή. Αυτός είναι ο στόχος της Ευρωπαϊκού έργου SOLHYCO.

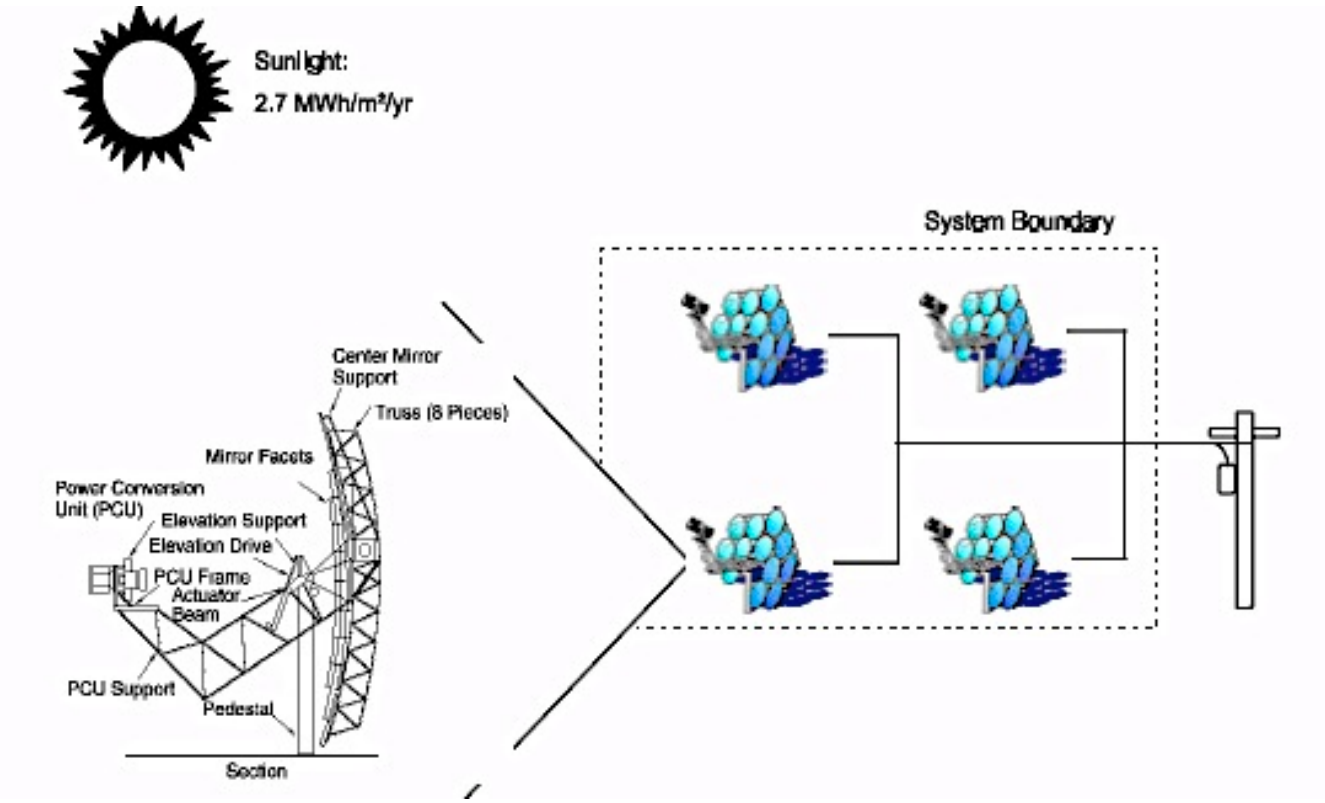


Σχήμα 51: Παράδειγμα απόδοσης του συστήματος αεριοστροβίλου

4 .Συστήματα ΔίσκουΜηχανής(Dish/Stirling Systems)

4.1 Γενική περιγραφή

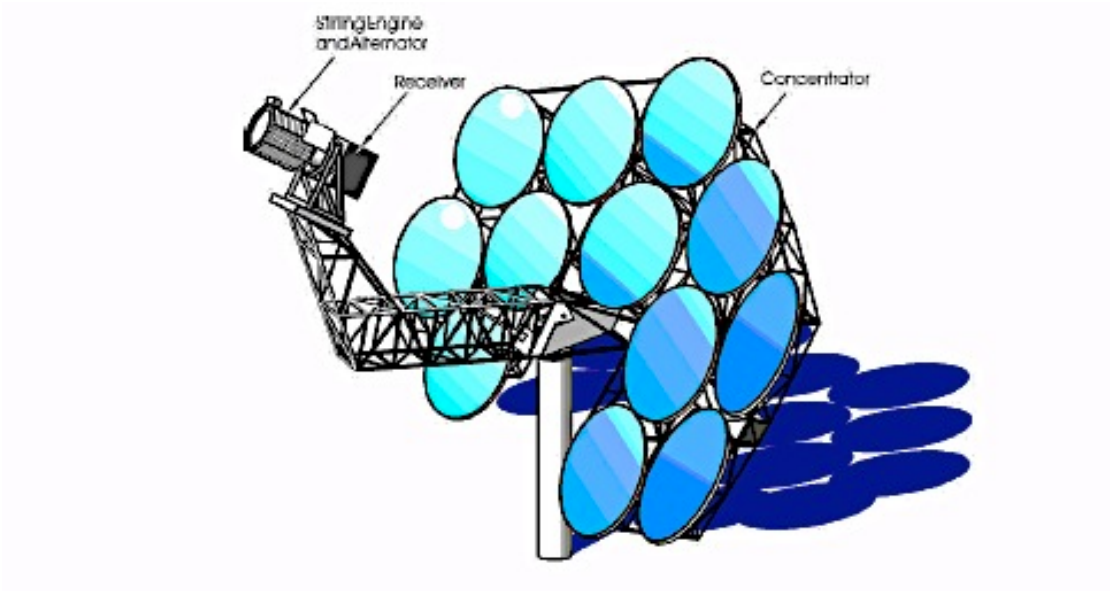
Οι ηλιακές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μπορεί επίσης να εφαρμοστούν για την αποκεντρωμένη παραγωγή μέσω παραβολικών δίσκων στους οποίους επισυνάπτεται ένα σύστημα Power Conversion Unit (PCU) απευθείας στο συμπυκνωτή. Παρά το γεγονός ότι υπήρξαν και άλλες πρωτοβουλίες αρθρωτού συστήματος PCU στο παρελθόν, όπως ο δίσκος Brayton που δοκιμάστηκε από την Cummins και DLR ή η χρήση εκτάσεων με δίσκους για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού σχεδιασμένων για τροφοδοσία ενός κεντρικού Rankine κύκλου στη Γεωργία ,είναι γεγονός ότι μόνο το σύστημα δίσκου/μηχανής έχει αποδείξει ένα από τα υψηλότερα μέγιστα αποδόσεων(peak) μετατροπής ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό άνω του 30% και ένα καθημερινό μέσο όρο μέχρι 25%.
Ο δίσκος Stirling θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια από οποιαδήποτε άλλο μεγάλο σύστημα ηλιακής τεχνολογίας. Αυτό το ρεκόρ οφείλεται σε υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης (μέχρι 3000 x) και υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας πάνω από 750 °C . Οι δίκοι/μηχανες μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια σχεδόν με τον ίδιο τρόπο με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια από την καύση των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 52 :Σύστημα δίσκου/μηχανης. Ο συνδυασμός των τεσσάρων μονάδων 25 kW, που παρουσιάζεται εδώ είναι αντιπροσωπευτική της εφαρμογής

Όπως φαίνεται στο σχήμα 52, οι δίσκοι/μηχανές χρησιμοποιούν μια σειρά καθρέφτες που αντανακλούν και συγκεντρώνουν τις εισερχόμενες άμεσες κάθετες ηλιακές ακτινοβολίες σε έναν δέκτη, προκειμένου να επιτευχθούν οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για την μετατροπή της θερμότητας ώστε να λειτουργήσουν . Αυτό προϋποθέτει ότι το πιάτο παρακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες.
Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε έναν κινητήρα. Οι δίσκοι/κινητήρες χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, σπονδυλωτή διάταξη , αυτόνομη λειτουργία, και μια εγγενή υβριδική ικανότητα (την ικανότητα να λειτουργούν είτε με ηλιακή ενέργεια ή με ορυκτά καύσιμα, ή και με τα δύο).

Τα συστήματα αυτά λόγω της υψηλής τους απόδοσης έχουν την δυνατότητα να γίνουν μία από τις λιγότερο ακριβές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Σχήμα 53: Σχεδιάγραμμα του συστήματος δίσκου/κινητήρα με κάτοπτρα τεντωμένης-μεμβράνης

Η προσαρμοστικότητα των συστημάτων αυτων τους επιτρέπει να αναπτυχθούν ένα –ένα για απομακρυσμένες εφαρμογές, ή ομαδοποιημένα σε μικρά δίκτυα (χωριά ενέργειας). Τα συστήματα μπορούν επίσης να υβριδοποιηθούν με ορυκτά καύσιμα για την παροχή ενέργειας διανομής. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται στο στάδιο της μηχανικής ανάπτυξης και οι προκλήσεις παραμένουν σχετικά με τα κατασκευαστικά στοιχεία και την εμπορική διαθεσιμότητα των κινητήρων. Παρακάτω περιγράφονται τα στοιχεία των συστημάτων , η ιστορία και οι τρέχουσες δραστηριότητες.

4.2 Συγκεντρωτές

Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούν μια αντανακλαστική επιφάνεια από αλουμίνιο ή ασήμι. Οι πιο ανθεκτικές αντανακλαστικές επιφάνειες έχουν ασημί/γυαλίνους καθρέπτες, παρόμοιους με τα κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται στο σπίτι. Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη χαμηλού κόστους στις ανακλαστικές μεμβράνες

πολυμερών υλικών είχαν περιορισμένη επιτυχία. Επειδή τα πιάτα των συγκεντρωτών έχουν μικρό εστιακό μήκος, απαιτούνται καθρέφτες σχετικά λεπτού γυαλιού (πάχους περίπου 1 mm) για να δημιουργήσουν την απαιτούμενη καμπυλότητα. Επιπλέον, γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο είναι απαραίτητο για να βελτιωθεί η ανάκλαση.

Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε σίδηρο και το πάχος, τα ηλιακά κάτοπτρα έχουν τιμές ηλιακής ανακλαστικότητας στην περιοχή 90 έως 94%. Το ιδανικό σχήμα συγκεντρωτή είναι παραβολοειδές με περιστροφή. Μερικοί ηλιακοί συγκεντρωτές προσεγγίζουν αυτο το σχήμα με πολλαπλούς, σφαιρικού σχήματος καθρέφτες υποστηριζόμενους, σε δομή γέφυρας (Σχήμα 52). Μια καινοτομία στο ηλιακό συγκεντρωτή είναι η χρήση των τεντωμένων-μεμβρανών με την οποίο μια λεπτή αντανακλαστική μεμβράνη τεντώνεται σε μια στεφάνη. Μια δεύτερη μεμβράνη χρησιμοποιείται για να κλείσει το χώρο πίσω. Ένα μερικό κενό δημιουργείται σε αυτό το χώρο, φέρνοντας την αντανακλαστική μεμβράνη σε ένα περίπου σφαιρικό σχήμα. Στο Σχήμα 53 φαίνεται ενα σύστημα πιάτου / Stirling που χρησιμοποιεί αυτήν την τεχνολογία.

Ο οπτικός σχεδιασμός και η ακρίβεια του συγκεντρωτή προσδιορίζουν τον δείκτη συγκέντρωσης. Ο δείκτης συγκέντρωσης,ορίζεται ως η μέση ηλιακή ροή μέσω του ανοίγματος του δέκτη που χωρίζεται από το άμεσο περιβάλλον της ηλιακής ακτινοβολίας, και είναι συνήθως πάνω από 2000. Το κλάσμα τομής , ορίζεται ως το κλάσμα της ανακλώμενης ηλιακής ροής που περνάει μέσα από το ανοίγμα του δέκτη και είναι συνήθως πάνω από 95%.

Η παρακολούθηση σε δύο άξονες επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

(1) παρακολούθηση αζιμούθιου-ανύψωσης και

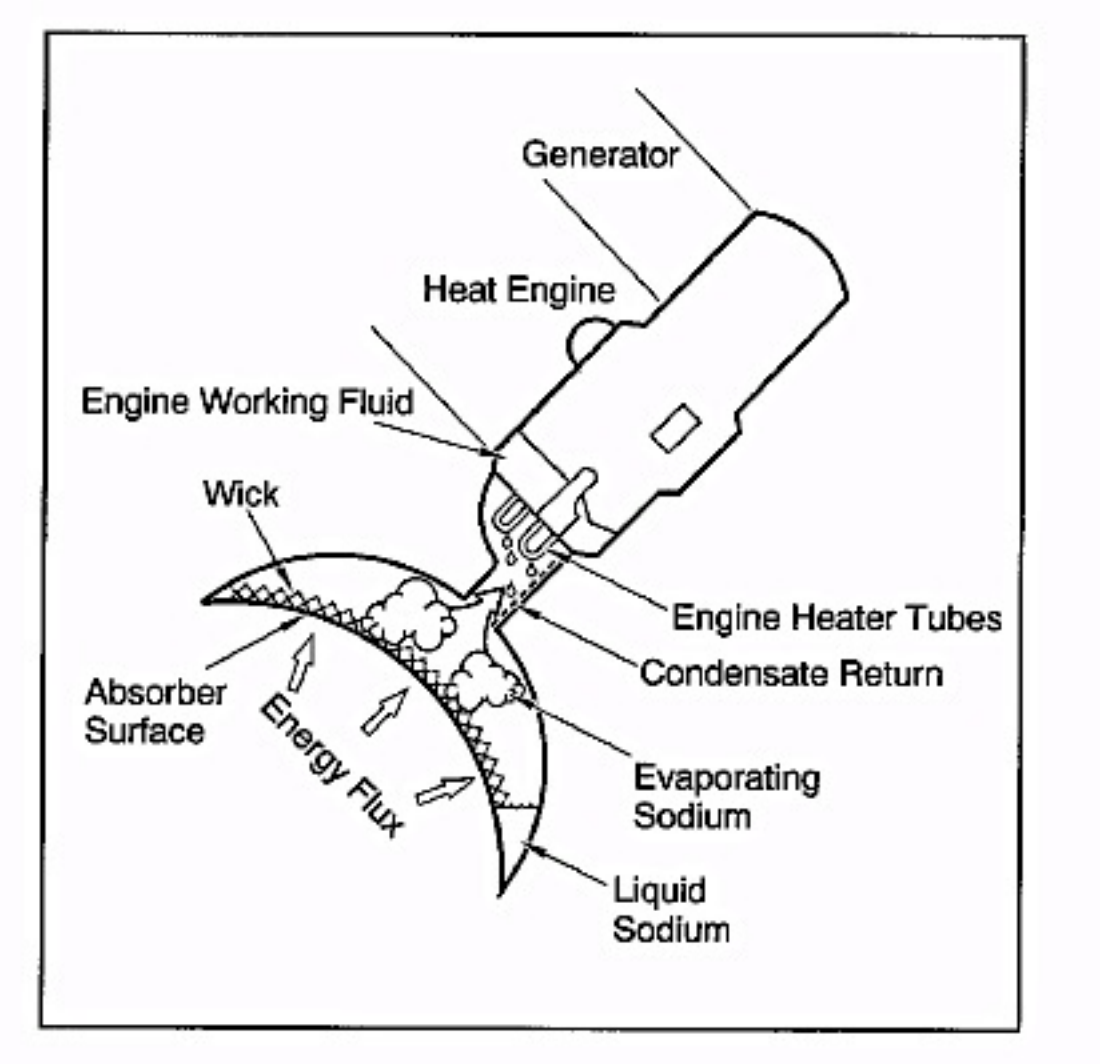
(2) πολική παρακολούθηση.

Στην παρακολούθηση αζιμούθιου-ανύψωσης το πιάτο περιστρέφεται σε ένα επίπεδο παράλληλο προς τη γη (αζιμούθιο) και σε ένα άλλο επίπεδο κάθετο σε αυτό (ανύψωση). Αυτό δίνει στο συλλέκτη περιστροφές αριστερά/δεξιά και πάνω/κάτω . Τα ποσοστά περιστροφής ποικίλλουν όλη την ημέρα, αλλά μπορούν εύκολα να υπολογιστούν. Τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα πιάτα / κινητήρες χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο παρακολούθησης.

Στην πολική παρακολούθηση , ο συλλέκτης περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο προς τον άξονα της γης περιστροφής. Ο συλλέκτης περιστρέφεται με σταθερό ποσοστό 15°/ώρα για να ταιριάζει με την ταχύτητα περιστροφής της γης. Ο άλλος άξονας περιστροφής, ο άξονας απόκλισης, είναι κάθετος στον πολικό άξονα. Η κίνηση για τον άξονα αυτό είναι αργή και ποικίλλει κατά +/-23 ½ ° ανά χρόνο.

Όπως και στούς κεντρικούς δέκτες και τα παραβολικά κοίλα , ο δέκτης απορροφά το φως και μεταφέρει την ενέργεια ως θερμότητα στο αέριο λειτουργίας του κινητήρα, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Οι θερμότητες του ρευστού είναι μεταξύ 650°C και 750°C. Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα του κινητήρα. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, οι απώλειες ακτινοβολίας επηρεάζουν έντονα την

αποδοτικότητα του δέκτη. Ως εκ τούτου, ένα σχέδιο κοιλότητας είναι η βέλτιστη λύση για αυτό το είδος του συστήματος.



Σχήμα 55: Σχεδιάγραμμα που δείχνει τη λειτουργία ενός ηλιακού δέκτη heat-pipe

4.3 Δέκτες

Ο δέκτης απορροφά την ενέργεια που αντανακλάται από το συμπυκνωτή και την μεταφέρει στο ρευστό λειτουργίας του κινητήρα. Η απορροφώσα επιφάνεια συνήθως τοποθετείται πίσω από την εστία του δέκτη για να μειώσει την ένταση ροής σε αυτό. Ένα διάφραγμα τοποθετείται στο επίκεντρο για την μείωση της ακτινοβολίας και την συναγωγή των απωλειών θερμοτητας. Κάθε μηχανή έχει το δικό της τρόπο διασύνδεσης. Οι δέκτες του κινητήρα πρέπει να μεταφέρουν αποτελεσματικά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια σε υψηλής πίεσης φυσικό αέριο ταλάντωσης, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Στους δέκτες Brayton η ροή είναι σταθερή αλλά σε σχετικά χαμηλές πιέσεις.

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των δεκτών Stirling, οι απευθείας φωτισμού δέκτες (direct-illumination receivers (DIR)) και οι έμμεσοι δέκτες που χρησιμοποιούν ενδιάμεσα υγρά μεταφοράς θερμότητας, Οι άμεσα-φωτιζόμενοι δέκτες Stirling προσαρμόζουν τους σωλήνες θέρμανσης του κινητήρα Stirling ώστε να απορροφήσουν την συγκεντρωμένη ηλιακή ροή. Λόγω της υψηλής ικανότητας μεταφοράς θερμότητας υψηλής ταχύτητας,της υψηλής πίεσης ήλιου ή υδρογόνου, οι απευθείας φωτισμού δέκτες είναι σε θέση να απορροφήσουν υψηλά επίπεδα της ηλιακής ροής (περίπου 75 W/cm^2). Ωστόσο, η εξισορρόπηση των θερμοκρασιών και η προσθήκη θερμότητας μεταξύ των κυλίνδρων του Stirling κινητήρα είναι ένα θέμα.

Υγρά μέταλλα, δέκτες με σωλήνες θέρμανσης βοηθούν στην επίλυση αυτού του ζητήματος(έμμεσοι δέκτες). Σε ένα δέκτη σωλήνων θέρμανσης το υγρό του μετάλου από νάτριο εξατμίζεται στην επιφάνεια απορρόφησης του δέκτη και συμπυκνώνεται στους σωλήνες θέρμανσης του κινητήρα Stirling (Σχήμα 55). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια ομοιόμορφη θερμοκρασία στους σωλήνες θέρμανσης, επιτρέποντας έτσι την υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα για ένα δεδομένο υλικό, και ως εκ τούτου μεγαλύτερη απόδοση του κινητήρα. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στους δέκτες και τις κεφαλές του θερμαντήρα του κινητήρα είναι επίσης θεωρητικά δυνατή από τη χρήση των σωληνώσεων θέρμανσης.Ο δέκτης αυτός μεταφέρει ισοθερμικά την θερμότητα από την εξάτμιση του νατρίου στον δέκτη/αποροφητήρα και τον συμπικνώνει στις σωληνώσεις θέρμανσης του κινητήρα. Το νάτριο επιστρέφει στον απορροφητήρα από τη βαρύτητα και διανέμεται κατά τη διάρκεια της απορρόφησης.

Οι δέκτες Stirling είναι συνήθωςκατά 90% αποτελεσματικοί στη μεταφορά της ενέργειας που παραδίδεται από τον συμπυκνωτή στον κινητήρα.Οι ηλιακοί δέκτες τύπου Brayton είναι λιγότερο ανεπτυγμένα συστήματα. Επιπλέον, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας του αέρα χαμηλής πίεσης μαζί με την ανάγκη να ελαχιστοποιηθεί η πίεση που πέφτει στο δέκτη κάνει το σχεδιασμό του δέκτη μια πρόκληση. Οι πιο επιτυχημένοι δέκτες Brayton έχουν χρησιμοποιησει "ογκομετρική απορρόφηση» στην οποία η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσω ενός παραθύρου και απορροφάται από μια πορώδη μήτρα. Η προσέγγιση αυτή παρέχει σημαντικά μεγαλύτερη περιοχή μετάδοσης της θερμότητας από τους συμβατικούς εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούν αγωγιμότητα μέσω ενός τοίχου. Οι ογκομετρικοί δέκτες Brayton με κηρήθρες και δικτυωτά ανοικτές κυψελίδες από κεραμικά έχουν επιτυχώς αποδειχθεί, αλλά μόνο για σύντομες λειτουργίες (δεκάδες ώρες). Η δοκιμή του χρόνου έχει περιοριστεί από τη διαθεσιμότητα των μηχανών Brayton. Άλλα σχέδια περιλαμβάνουν την αγωγιμότητα μέσω ενός τοίχου και την χρήση πτερυγίων.Η απόδοση του δέκτη Brayton είναι συνήθως πάνω από 80%.

4.4 Κινητήρες

Ο κινητήρας σε ένα σύστημα πιάτου μετατρέπει τη θερμότητα του κινητήρα σε μηχανική ισχύ κατά τρόπο παρόμοιο με τους συμβατικούς κινητήρες, δηλαδή από τη συμπίεση ενός αερίου όταν είναι κρύο, τη θέρμανση του πεπιεσμένου λειτουργικού αερίου, και στη συνέχεια την επέκταση μέσω ενός στροβίλου ή ενός εμβόλου. Η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική

ενέργεια από μία ηλεκτρική γεννήτρια ή δυναμό. Ένας αριθμός θερμοδυναμικών κύκλων και ρευστων λειτουργίας έχουν δοκιμασθεί από τα συστήματα αυτά. Αυτός περιλαμβάνει κύκλους Rankine χρησιμοποιώντας νερό ή ένα βιολογικό υγρό λειτουργίας : ανοικτούς και κλειστούς κύκλους Brayton και κύκλους Stirling. Άλλοι πιο εξωτικοί θερμοδυναμικοί κύκλοι και παραλλαγές των παραπάνω κύκλων έχουν επίσης εμφανισθεί.

Οι μηχανές θερμότητας χρησιμοποιούν συνήθως ανοικτούς κύκλους Stirling και Brayton (αεριοστρόβιλους). Η χρήση των συμβατικών Otto και Diesel κύκλων κινητήρα δεν είναι εφικτή λόγω των δυσκολιών στην ενσωμάτωσή τους με την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί επίσης να παρέχεται από τον συμπληρωματικό καυστήρα αερίου για να επιτρέψει την λειτουργία κατά τη διάρκεια συννεφιάς και τη νύχτα. Οι ηλεκτρικές εξόδοι των σημερινών δίσκων – κινητήρων είναι περίπου 25 kW_e για Stirling συστήματα και περίπου 30 kW_ε για τα συστήματα Brayton. Μικρότερες ισχείς από 5 έως 10 kW_e στις μηχανές Stirling έχουν επίσης αποδειχθεί.

4.4.1 Μηχανές Stirling

Οι μηχανές κύκλου Stirling που χρησιμοποιούνταν στα πιάτα Stirling ήταν υψηλής θερμοκρασίας, υψηλής εξωτερικής πίεσης θερμαινόμενοι κινητήρες που χρησιμοποιούσαν υδρογόνο ή ήλιο. Θερμοκρασίες αερίου 700°C (1292 ° F) και πάνω από 20 MPa χρησιμοποιούνται στίς σύγχρονες υψηλής απόδοσης κινητήρες Stirling. Στον κύκλο Stirling το λειτουργικό αέριο θερμαίνεται και ψύχεται εναλλάξ με διαδικασίες σταθερής θερμοκρασίας και σταθερού όγκου.Οι κνητήρες Stirling συνήθως ενσωματώνουν έναν ανανεωτή που συλλαμβάνει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της σταθερής σε όγκο ψύξης και το αντικαθιστά όταν το αέριο θερμαίνεται σε σταθερό όγκο. Το Σχήμα 54 δείχνει τις τέσσερις βασικές διαδικασίες του κύκλου του κινητήρα Stirling. Υπάρχουν αρκετές μηχανικές διαμορφώσεις που υλοποιούν αυτές τις διαδικασίες σταθερής θερμοκρασίας και έντασης. Πολλές περιλαμβάνουν τη χρήση των εμβόλων και κυλίνδρων. Μερικές χρησιμοποιούν ένα μετατοπιστή (ένα έμβολο που μετατοπίζει το λειτουργικό αέριο χωρίς αλλαγή του ογκου του) για την μεταφορά του ωφέλιμου αερίου πίσω, δηλαδή από την ζεστή περιοχή στην κρύα περιοχή του κινητήρα.

Για τα περισσότερα σχέδια του κινητήρα, η δύναμη εξάγεται κινηματικά από ένα περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο άξονα. Εξαίρεση αποτελεί η διαμόρφωση ελευθέρων εμβόλων, όπου τα έμβολα δεν περιορίζονται από στροφαλοφόρους ή άλλους μηχανισμούς. Μια σειρά από εξαιρετικές αναφορές είναι διαθέσιμες που περιγράφουν τις αρχές της Stirling μηχανής. Ο καλύτερος από τους κινητήρες Stirling πετυχαίνει απόδοση μετατροπής θερμικής σε ηλεκτρική ενέργεια της τάξης του 40% .Οι κινητήρες Stirling είναι ένας κορυφαίος υποψήφιος για συστήματα θέρμανσης δίσκου-μηχανής γιατί η εξωτερική τους θερμότητα, τους κάνει να προσαρμόζονται στις συγκεντρωμένες ηλιακές ροές και επίσης λόγω της υψηλής τους αποδοτικότητας.

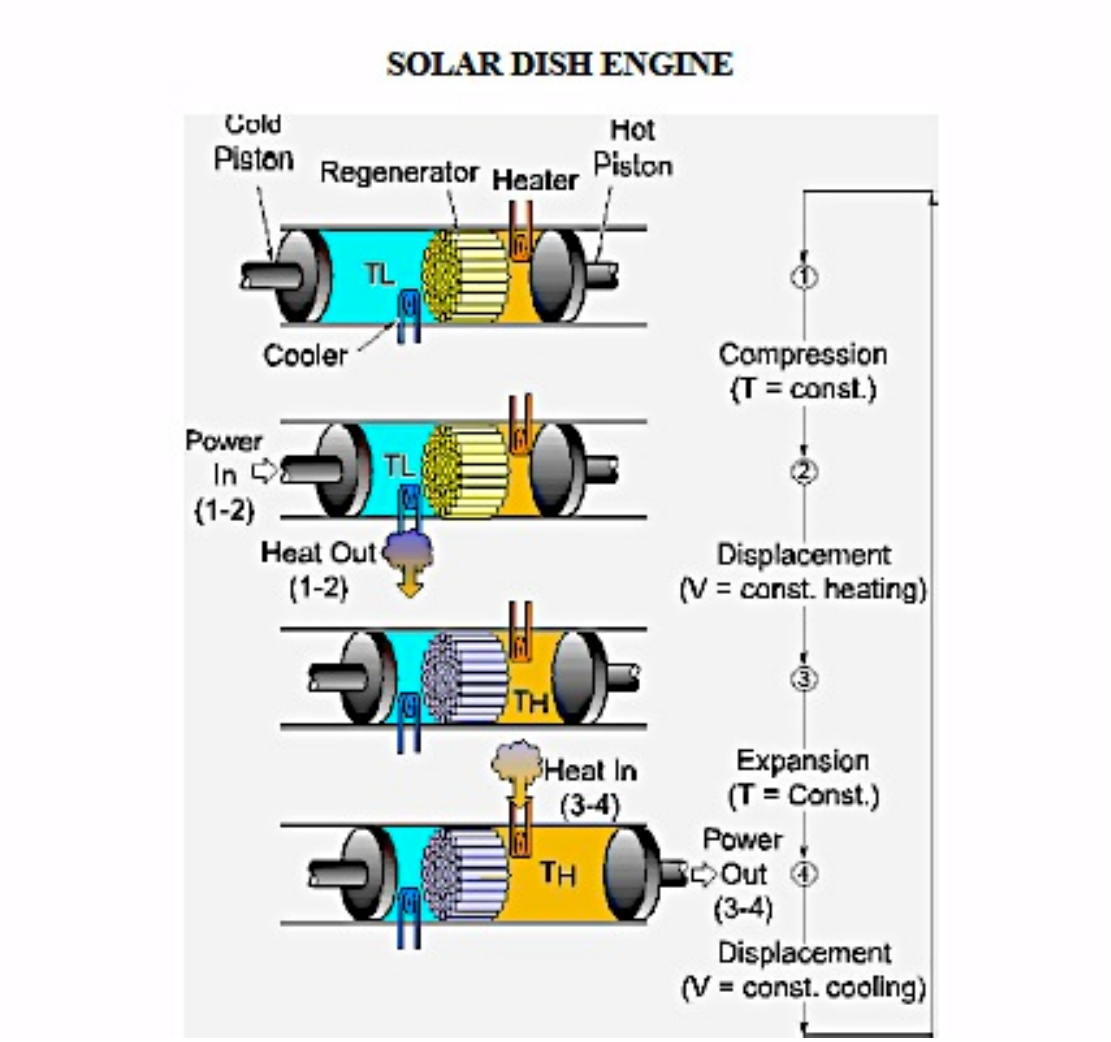
Επί του παρόντος, οι μηχανές Stirling, περιλαμβάνουν τον SOLO 161 11 kWe κινηματικό Sterling κινητήρα, τον Kockums (προηγουμένως United Stirling) 4-95 25 kW κινηματικό Stirling κινητήρα, και τους Stirling θερμικούς κινητήρες STM-4-120 25 kW. Όλες οι κινηματικές μηχανές Stirling που

εεξετάζονται για ηλιακές εφαρμογές έχουν κατασκευαστεί για άλλες εφαρμογές. Επιτυχής εμπορευματοποίηση οποιουδήποτε από αυτούς τους κινητήρες θα εξαλείψει ένα σημαντικό εμπόδιο για την εισαγωγή της τεχνολογίας των πιάτων/κινητήρων.

Η κύρια εφαρμογή του SOLO 161 είναι για τη συμπαραγωγή στην Γερμανία. Ο Kockums αναπτύσσει μια μεγαλύτερη εκδοχή του 4-95 για τα υποβρύχια του σουηδικού ναυτικού. Και η STM4-120 αναπτύσσεται με την General Motors για την εταιρική DOE (υβριδικά αυτοκίνητα).

4.4.2 Κινητήρας Brayton

Ο κιμητήρας Brayton που ονομάζεται επίσης ο κινητήρας τζετ, αεριοστροβίλου καύσης ή αεριοστροβίλων, είναι ενας κινητήρας εσωτερικής καύσης που παράγει ενέργεια από την ελεγχόμενη καύση των καυσίμων. Στον κινητήρα Brayton, όπως στις μηχανές Otto και Diesel , ο αέρας συμπιέζεται, το καύσιμο προστίθεται και το μίγμα καίγεται. Σε ένα πιάτο -Brayton, η ηλιακή θερμότητα χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει (συμπληρώσει) τα καύσιμα.

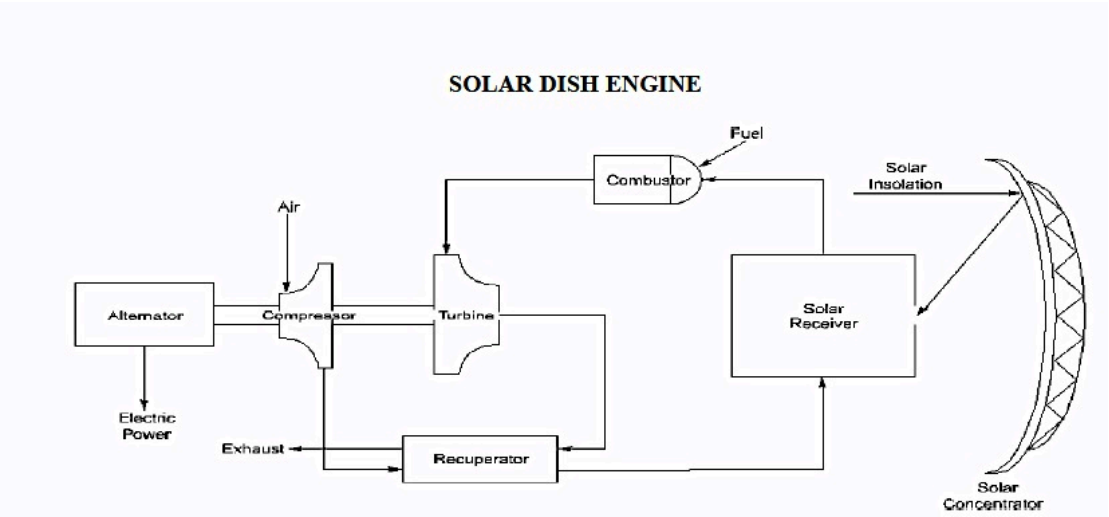


Σχήμα 54: Περιγραφικό σχεδιάγραμμα που δείχνει η αρχή της λειτουργίας του κινητήρα Stirling

Το προκύπτον θερμό αέριο επεκτείνεται γρήγορα και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Στον αεριοστρόβιλο, η καύση είναι συνεχής και το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει την τουρμπίνα και την γεννήτρια.

Όπως και στην μηχανή Stirling, η ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας είναι το κλειδί για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Ως εκ τούτου, η θερμότητα των αποβλήτων που αποβάλονται απο την τουρμπίνα χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα από το συμπιεστή. Μια σχηματική παράσταση ενός ενιαίου άξονα ανάκτησης κινητήρα Brayton φαίνεται στο Σχήμα 55. Οι αεριοστρόβιλοι έχουν αναλογίες πίεσης περίπου 2,5 και θερμοκρασίες εισόδου του στροβίλου 850 °C (1.562 ° F) περίπου. Οι προβλεπόμενες θερμικές-σε-ηλεκτρικές αποδοτικότητες των κινητήρων για Brayton εφαρμογές είναι πάνω από 30% .

Η εμπορευματοποίηση των παρόμοιων μηχανημάτων τουρμπίνων για διάφορες εφαρμογές από την Allied Signal, Williams International, Capstone Turbines Corp, Northern Research and Engineering Company (NREC) και άλλων μπορεί να δημιουργήσει μια ευκαιρία για την ανάπτυξη των μηχανών Brayton.



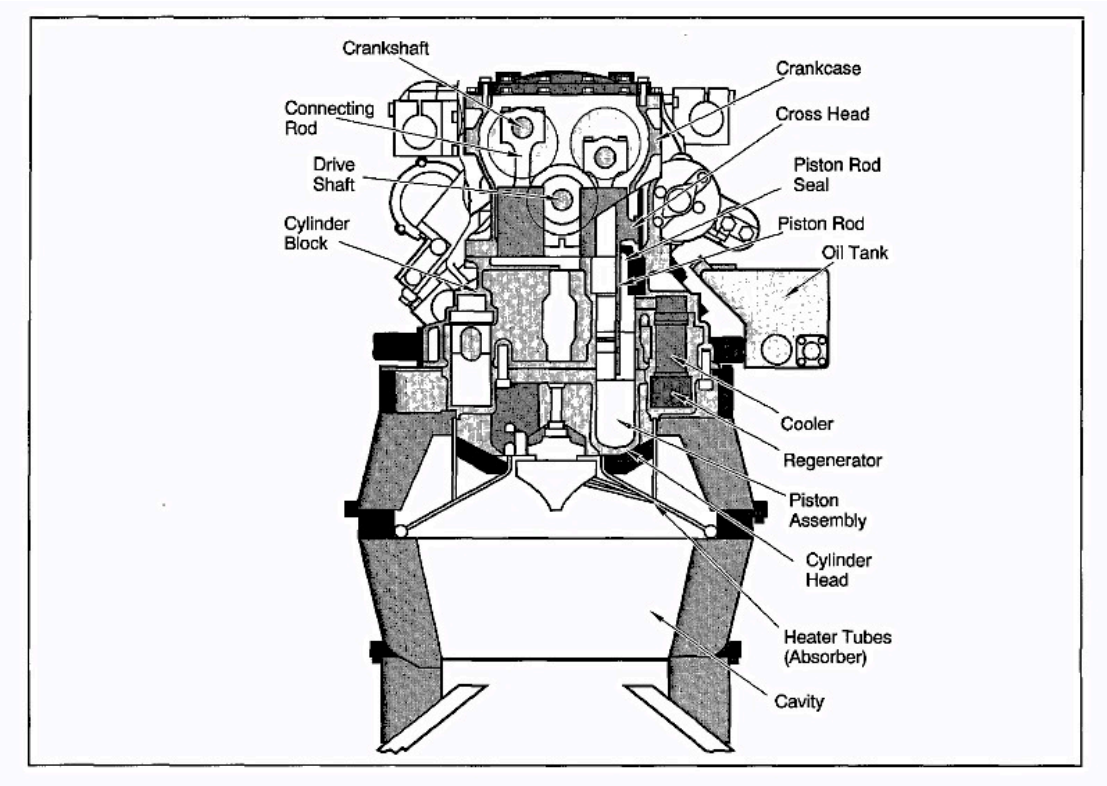
Σχήμα 55: Γραφική απεικόνιση ενός συστήματος Brayton.

4.5 Η εξελιξη στα συστήματα δίσκου-μηχανης

Όπως και οι άλλες τεχνολογίες CSP, οι δίσκοι-μηχανες ξεκίνησαν στις αρχές του 1980. Οι περισότερες εγκαταστάσεις αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ και τη Γερμανία, και έχουν δοκιμαστεί σε ένα μικρό αριθμό μονάδων.

Η πρώτη γενιά των πιάτων ήταν συγκεντρωτές τύπου-πτυχής με καθρέφτες δεύτερης επιφάνειας που είχαν ήδη δοκιμασμένους συγκέντρωτές (CZ3000), και είχαν εξαιρετικές επιδόσεις, αν και η εκτίμηση του κόστους για τη μαζική παραγωγή ήταν πάνω από $ 300/m^2. Οι ισχυρές δομές τους ήταν εξαιρετικά βαριές , με βάρος 100 kg/m^2.Η εμπροσθοφυλακή του προτωτύπου 25 kW-1 που κατασκευάστηκε από την Advanco λειτούργησε στο Rancho Mirage, στην Καλιφόρνια, στην έρημο Mojave με λειτουργία παραγωγής για 18 μήνες

(Φεβρουάριος 1984 - Ιούνιος 1985) και τα αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν από την EPRI .

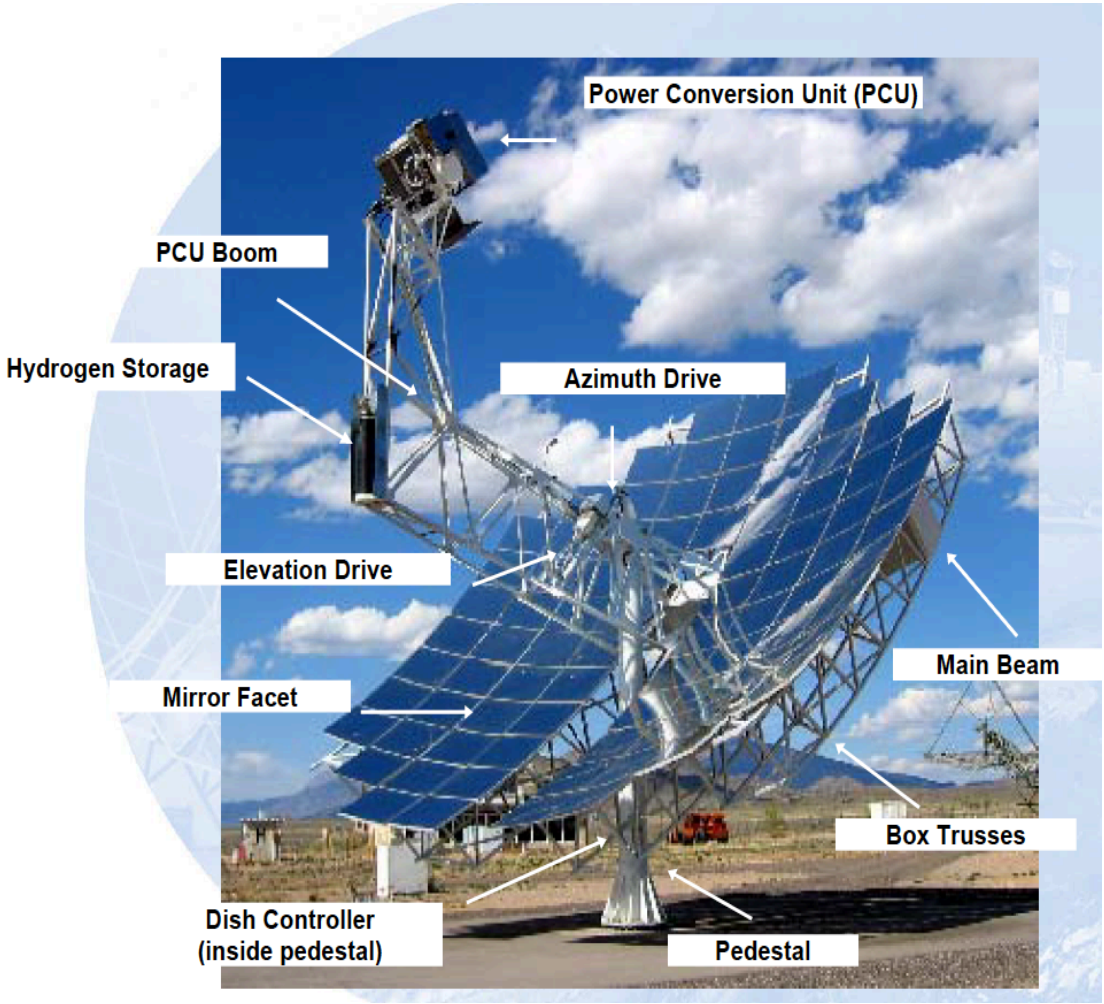


Σχήμα :Κινηματικός Stirling κινητήρας .

Το σύστημα αυτό ήταν 10,7 cm σε διάμετρο με αντανακλαστική επιφάνεια 86,7 m^2 και 25 kW PSU και πραγματοποιήθηκε από το United Stirling AB (USAB) μοντέλο 4-95 Mark II. Ο κινητήρας αυτός είχε τέσσερις κυλίνδρους με 95 cm^3 κύλινδρο μετατόπισης. Οι κύλινδροι διανεμήθηκαν παράλληλα και συναρμολογήθηκαν σε τετραγωνικό σχήμα.Είχαν συνδεθεί με τον αναγεννητή και το ψυγείο και είχαν διπλής δράσης έμβολα. Το λειτουργικό αέριο ήταν υδρογόνο με μέγιστη πίεση 20 MPa και θερμοκρασία 720°C.

Η ισχύς του κινητήρα ελέγχονταν από τη διαφοροποίηση της πίεσης του ωφέλιμου αερίου.Το σύστημα Advanco/Vanguard, με καθαρή απόδοση μετατροπής (συμπεριλαμβανομένων των επικουρικών συστημάτων) άνω του 30%, εξακολουθεί να κατέχει το παγκόσμιο ρεκόρ μετατροπής.
Η McDonnell Douglas ανέπτυξε αργότερα ένα άλλο κάπως βελτιωμένο σύστημα πιάτου κάνοντας χρήση της ίδιας τεχνολογίας και της ίδιας μηχανής. Το πιάτο ήταν 10,5 m. και 25 kW. Το 88 m2 παραβολικό πιάτο αποτελείται από 82 σφαιρικές πλευρές γυαλιού. Έξι από αυτές τις μονάδες παρήχθησαν και εγκαταστάθηκαν σε χώρους γύρω από τις ΗΠΑ για τη δοκιμή της λειτουργίας των σφαιρικών πλευρών γυαλιού.
Η Southern California Edison συνέχισε να αξιολογεί το σύστημα αργότερα. Αναφέρθηκαν οτι οi επιδόσεις και οι αποτελεσματικότητες ήταν παρόμοιες με εκείνες της Advanco/Vanguard .Το σχέδιο είχε παγώσει για αρκετά χρόνια μέχρι το 1996, και η Stirling Energy Systems (SES) απέκτησε τα πνευματικά δικαιώματα της τεχνολογίας στον συγκεντρωτή και τα δικαιώματα κατασκευής

στις ΗΠΑ σε ό, τι ονομάζεται σήμερα Kockums, 4-95 Stirling κινητήρας με βάση PSU .Η SES ξεκίνησε τις δοκιμές και την βελτίωση αρκετών μονάδων σε διαφορετικές τοποθεσίες στις ΗΠΑ και τη Νότια Αφρική. Περισσότερες από 100.000 ώρες λειτουργίας συσωρευτηκαν για όλα τα συστήματα που έχουν αναφερθεί .Η ημερήσια απόδοση έχει βρεθεί να είναι 24-27% και ο ετήσιος μέσος όρος 24%, και αυτό που είναι πιο σημαντικό, έχουν επιτευχθεί διαθεσιμότητες 94% κατά τις ακτινοβολίες πάνω από 300 W/m^2. Η SES ασχολείται με σχέδια για μεγάλες εγκαταστάσεις στις Δυτικές Πολιτείες όπως η Νεβάδα και η Αριζόνα.



Εικόνα:τα διάφορα μέρη του συστήματος δίσκου-μηχανης

Από τα πρωτοποριακά σχέδια των πιατών Vanguard, με εξαίρεση τα SES, οι περισσότερες από τις επιλογές σχεδιασμού έχουν ως στόχο την μείωση του κόστους σε λιγότερο απαιτητικές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα την πλήξη της αποτελεσματικότητας, την εισαγωγή ελαφρύτερων και λιγότερο δαπανηρών ανακλαστήρων από πολυμερή ή λεπτό γυαλί κολλημένου πάνω σε δομές με βάση ρητίνες. Αυτά τα πιάτα, τα οποία έχουν χαμηλότερη οπτική απόδοση, χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά σε μη-Stirling εφαρμογές, με χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, όπως το Shenandoah και το Solarplant 1 στην Warner Springs (LaJet). Οι τυπικές συγκεντρώσεις ήταν της τάξεως των 600-1000 και οι θερμοκρασίες λειτουργίας ήταν εντός του εύρους των 650°C. Αρκετά πρωτότυπα αναπτύχθηκαν απότην Acurex, την Lajet, GE, SKI, και την

SBP. Οι εξελίξεις αυτές ακολούθηθηκαν στις ΗΠΑ . από την SAIC και WGA κατω από το προγραμα έρευνας της βιομηχανίας, DECC (Dish Engine Critical Components).

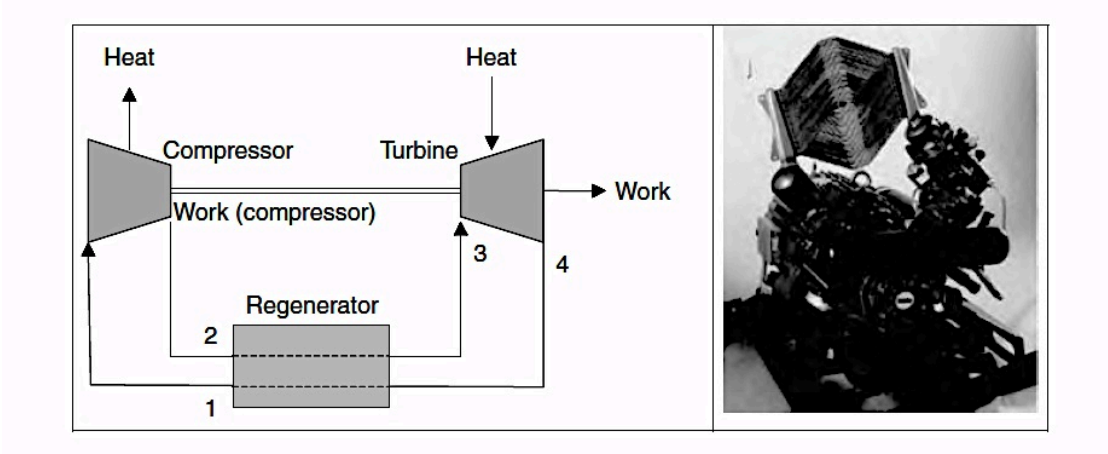
Εικόνα: Συστήματα Stirling

Οι πιο εκτενείς δοκιμές αυτου του τύπου έχουν γίνει με τον συμπυκνωτή τεντωμένης-μεμβράνης που αναπτύχθηκε στη Γερμανία από την Schlaich, Bergermann und Partner (SBP) .

Περισσότεεες από 50.000 ώρες από δοκιμές έχουν συσσωρευτεί στον τομέα έξι-πρωτότυπων, που προωθήθηκαν απο την SBP και Steinmuller, και αξιολογηθηκαν στο PSA στην Ισπανία .Το στόμιο είναι μια μόνο πτυχή 7,5 m διαμέτρου που αποτελείται μια τεντωμένη μεμβράνη πάχους 0,23 χιλιοστών από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι λεπτοί καθρέφτες από γυαλί συνδέονται με την μεμβράνη με ανοξείδωτο ατσάλι. Η μεμβράνη είναι τεντωμένη πέρα από το όριο της ελαστικότητας της χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό του βάρους του νερού στο μέτωπο και του κενό στο πίσω μέρος τους , για να σχηματίσουν ένα σχεδόν ιδανικό παραβολοειδές. Στη συνέχεια, ένα μικρό ενεργό κενό μέσα στη μεμβράνη του τυμπάνου διατηρεί την οπτική μορφή.

Ο V-160 κινητήρας,που παράχτηκε από την Stirling Power Systems, κατασκευάζεται πλεον από την γερμανική εταιρία Solo Kleinmotoren (Σχήμα57). Ο κινητήρας σαρώνει 160 cm^3 ηλίου με δύο έμβολα. Ο κινητήρας έχει απόδοση 30% και αναφέρθηκε συνολική αποδοτικότητα μετατροπής 20,3% (Σχήμα 58). Η εικόνα δείχνει την υψηλή προσαρμοστικότητα του πιάτου – Stirling στην διανομή φορτίου Αν και οι τεντωμένες μεμβράνες είχαν εξαιρετικά οπτικά αποτελέσματα, το κόστος παραγωγής ήταν υψηλότερο από

το αναμενόμενο. Ο διάδοχος των SBP πιάτων-μεμβράνης είναι το EuroDish.



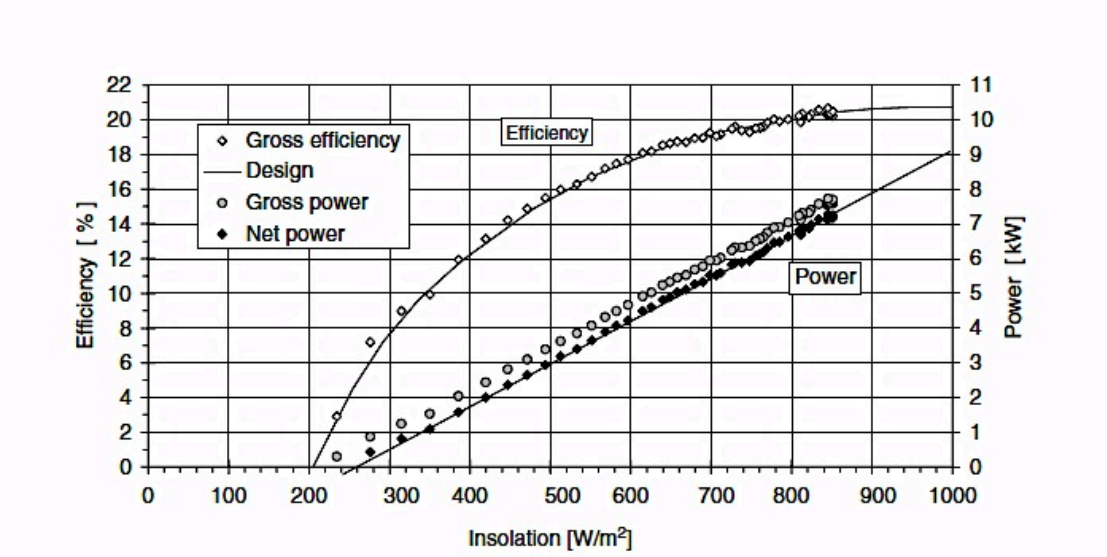
Σχήμα 56:Στα αριστερά παρουσίαση του ιδανικού κύκλου Stirling. Στα δεξιά ο Stirling κινητήρας V-160 των 10 kWe κατασκευασμένος από την Solo Kleinmotoren ο όποίος συνδέεται με ένα σωληνωτό εναλλάκτη θερμότητας

Σχήμα 57 :Παράδειγμα τμηματικών Παραβολικών συγκεντρωτών. Πίσω και εμπρόσθια όψη των δύο EuroDish πρωτότυπων στην δοκιμή της Plataforma Solar de Almeria(Ισπανία).

Το EuroDish είναι μια κοινοπραξία που ανέλαβε η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, η Γερμανική/Ισπανική βιομηχανία (SBP,MERO, Klein+Stekl, Inabensa) και τα ερευνητικά ιδρύματα DLR και CIEMAT. Το νέο σχέδιο αντικαθιστά τον συγκεντρωτή τεντωμένης-μεμβράνης με κέλυφος περιβεβλημένο από ίνες γυαλιού πάνω στο οποίο είναι οι καθρέφτες από γυαλί που συνδεδέονται με κόλλα. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στην EuroDish είναι η επόμενη γενιά Solo Kleinmotoren 161. Δύο νέες 10 kW EuroDish μονάδες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 59, είχαν εγκατασταθεί στην Plataforma Solar de Almeria, στην Ισπανία, στις αρχές του 2001 για έλεγχο και επίδειξη.

Στην συνέχεια του έργου που ονομάζεται EnviroDish, πρόσθετες μονάδες αναπτύχθηκαν στη Γαλλία, Ινδία, Ιταλία και Ισπανία για την συλλογή εμπειριών λειτουργίας σε διαφορετικές τοποθεσίες. Η μέγιστη ηλιακή-σε-καθαρή-ηλεκτρική ενέργεια απόδοση μετατροπής του συστήματος αναμένεται να είναι 21-22%, με βάση την εμπειρία από προηγούμενα έργα με τον ίδιο

κινητήρα. Η μέγιστη απόδοση του συστήματος προσμετρήθηκε σε 20%. Η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενός συστήματος EuroDish που λειτουργεί στο Albuquerque, Στο Νέο Μεξικό , είναι 20.252 kWh ηλεκτρικής ενέργειας με διαθεσιμότητα 90% και ετήσια απόδοση του 15,7% Το SBP και η σχετική βιομηχανία EuroDish έχουν πραγματοποιησει εκτιμήσεις για το κόστος σε ετήσιο ρυθμό παραγωγής των 500 μονάδων ανά έτος (5 MW / έτος) και 5000 μονάδες ετησίως, η οποίες αντιστοιχούν σε 50 MW /έτος. Το πραγματικό κόστος της μονάδας 10 kW, χωρίς το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης και χωρίς το κόστος εγκατάστασης είναι περίπου 10.000 $ / kW. Οι προβλέψεις για το κόστος παραγωγής σε ποσότητες των 500 και 5000 μονάδων ανά έτος είναι 2.500 Δολ. ΗΠΑ/kW και 1.500 δολάρια ΗΠΑ/kW, αντίστοιχα.

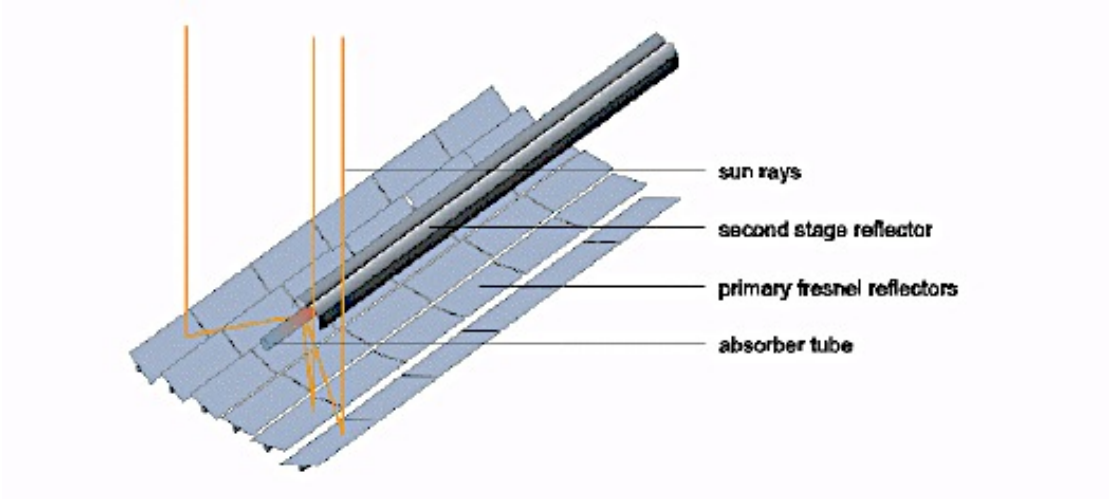


Σχήμα 59: Παράμετροι εισόδου/εξόδου και επιδόσεις που μετρώνται για ένα σύστημα Stirling τεντωμένης-μεμβράνης SBP 9-kWστην Almeria, Ισπανία (DISTAL)

5. Συλλέκτες Fresnel

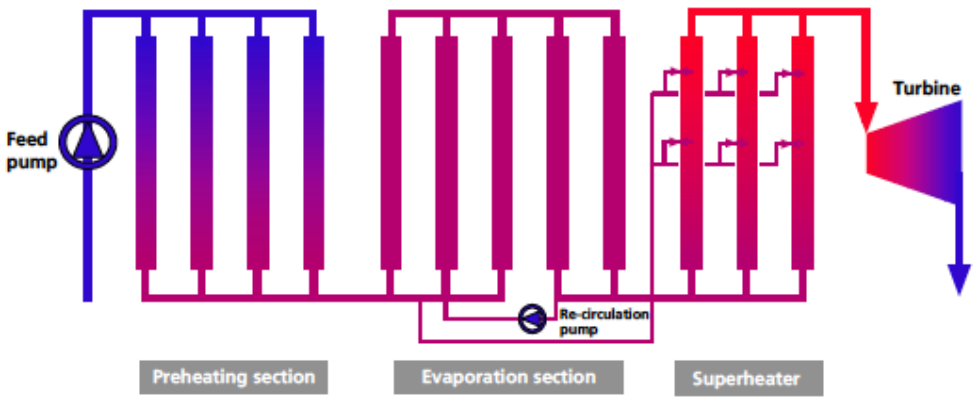
5.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Στα μεγάλα πεδία του συλλέκτη Solarmundo των αρθρωτών ανακλαστήρων Fresnel συγκεντρώνεται ακτινοβολία σε σταθερό δέκτη με πολλά μέτρα ύψος. Αυτός ο δέκτης περιλαμβάνει ένα δεύτερο στάδιο κάτοπτρου που κατευθύνει όλες τις εισερχόμενες ακτίνες σε ένα σωλήνα απορρόφησης. Οι καθρέφτες, που ο καθένας έχει πλάτος 0,5 m, δεν είναι εντελώς επίπεδοι, αλλά έχουν μια πολύ μικρή καμπυλότητα, η οποία επιτυγχάνεται με μηχανικές κάμψεις.Ο συλλέκτης αποτελείται από 48 σειρές κατόπτρων, που χει αποτέλεσμα συνολικό πλάτος 24 m.
Το δευτερο στάδιο του συγκεντρωτή όχι μόνο διευρύνει το στόχο για τους ανακλαστήρες Fresnel , αλλά επιπλέον μονώνει τον σωλήνα απορρόφησης. Το πίσω μέρος είναι καλυμμένο με μια αδιαφανή μόνωση και στο μπροστινό μέρος ένας υαλοπίνακας συναγωγής μειώνει τις απώλειες θερμότητας.



Σχήμα 60: Αρχή λειτουργίας του συλλέκτη Solarmundo Fresnel

Ο βασικός σχεδιασμός του συνόλου συλλέκτη για την άμεση παραγωγή ατμού σκιαγραφείται στο σχήμα 60. Το ηλιακό πεδίο για τις 50-MW ηλιακές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής δημιουργούν 12 σειρές στον συλλέκτη, μήκους 1000 m. Οι σειρές μπορούν να εγκατασταθούν η μία κοντά στην άλλη, ώστε η χρήση γης του ηλιακού πεδίου να καλύπτεται ολόκληρη σχεδόν από την περιοχή του καθρέφτη. Οι σειρές του συλλέκτη συνδέονται παράλληλα και σε σειρά και το ηλιακό πεδίο χωρίζεται σε τρία τμήματα :για προθέρμανση, εξάτμιση και υπερθέρμανση.



Σχήμα 61 : Σύνδεση συλλέκτη Fresnel

Τα κύρια πλεονεκτήματα του συλλέκτη Solarmundo Fresnel, σε σύγκριση με τους κοίλους συλλέκτες είναι:

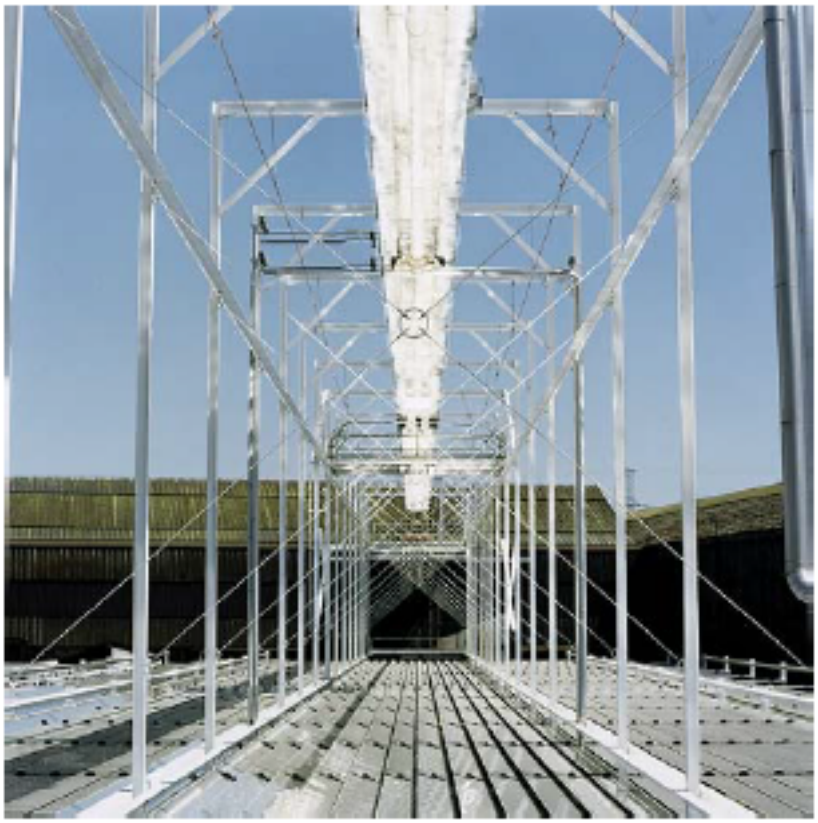
- Ανέξοδοι επίπεδοι καθρέφτες και απλό σύστημα παρακολούθησης
- Σταθερός σωλήνας απορρόφησης χωρίς την ανάγκη για ευέλικτες συνδέσεις υψηλής πίεσης
- Καμία τεχνολογία κενού και χωρίς σφράγιση γυαλιού-μετάλλου
- Ένας μόνο σωλήνας απορρόφησης χωρίς την ανάγκη για θερμική διαστολή τόξου
- Λόγω της επιπεδότητας του ανακλαστήρα, τα φορτία ανέμου μειωνονται σημαντικά, ώστε το πλάτος για έναν σωλήνα απορρόφησης του ανακλαστήρα μπορεί εύκολα να είναι τρεις φορές το πλάτος της γούρνας
- Λόγω της άμεσης παραγωγής ατμού δεν είναι απαραίτητος ο εναλλάκτης θερμότητας
- Αποδοτική χρήση της γης, δεδομένου ότι οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν ο ένας δίπλα στο άλλο

Σχήμα : Ηλιακοί συγκεντρωτές Fresnel

Σύμφωνα με το Solarmundo αυτά τα πλεονεκτήματα οδηγούν σε μείωση του κόστους της τάξης του 50% για το ηλιακό πεδίο σε σύγκριση με την παραβολική γούρνα. Η μείωση του κόστους λόγω της οικονομίας κλίμακας και του άριστου σχεδιασμού του συλλέκτη θα μειώσει περεταίρω το κόστος των επενδύσεων για το ηλιακό πεδίο. Εκτός από τη μείωση του κόστους στον ηλιακό τομέα, υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση που προσφέρεται από το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
Σε σύγκριση με την ηλιακή τεχνολογία κοίλου υπάρχει μια επιπλέον εφαρμογή για τους ηλιακούς συλλέκτες Fresnel, η οποία προς το παρόν δεν έχει αξιολογηθεί συστηματικά, αλλά θα μπορούσε να δείξει τις μελλοντικές παροχές: ένα ελεγχόμενο θερμοκήπιο μπορεί να εφαρμοστεί στο χώρο κάτω από τους καθρέφτες. Με τη χρήση του διάχυτου φωτος και την ανάκλαση του φωτός που ανακλάται στο πίσω μέρος των καθρέφτων (~ 300 W / m^2), μπορούν να παραχθούν οι ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων ακόμη και σε σκιά και σε άγονες κλιματικές ζώνες.

5.2 Το πρωτότυπο Solarmundo

Το 1999 η εταιρεία Solarmundo άρχισε να στήνει ένα πρωτότυπο συλλέκτη 2,500 τ.μ. στη Λιέγη, στο Βέλγιο, για τον εντοπισμό σφαλμάτων του συστήματος και την επαλήθευση της μηχανικών πτυχών. Οι σπάνιες περιόδοι ηλιοφάνειας χρησιμοποιήθηκαν για επιχειρησιακές δοκιμές του συλλέκτη και για την εμπειρία .



Σχήμα :2500 τ.μ. πρότοτυπο στην Λιέγη (Βέλγιο)

Ωστόσο, προκειμένου δοκιμαστούν περισσότερο τα μηχανικά μέρη του συλλέκτη, η ηλιοφάνεια δεν είναι απαραίτητη.Ένα βασικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί είναι το να είναι σε θέση να εξασφαλίσει χαμηλό κόστος συντήρησης κάτω από πολύ σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος.Συνεπώς, τα έδρανα και ο κινητήριος μηχανισμός της παρακολούθησης του καθρέφτη δοκιμάστηκαν εκτενώς στο εργαστήριο.Τα έδρανα αναπτύχθηκαν μαζί με την Bayer AG. Το ασύμμετρο σχήμα τους προσαρμόζει το κέντρο βάρους των γραμμών του καθρέφτη στον άξονα περιστροφής τους. Αυτό είναι αναγκαίο για την επίτευξη χαμηλών κινητήριων δυνάμεων

Η αρχή Fresnel είναι πολύ απλή: επειδή η σχετική κίνηση όλων των καθρεφτών είναι ίδια με το σύστημα παρακολούθησης, από τη στιγμή που είναι τοποθετημένοι σωστά,η κυκλοφορία τους μπορεί να συνδέεται μηχανικά. Πολλές σειρές καθρέφτη οδηγούνται από ένα κινητήρα. Η μηχανική σύνδεση γίνεται με ατέρμονα κοχλία, ο οποίος επίσης είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε η άμμος και η βρωμιά να μπορεί να πέσει μέσα. Και οι δύο, τα ρουλεμάν και το κιβώτιο ταχυτήτων δοκιμάστηκαν εντατικά και απόδειξαν την ικανότητά τους να αντέχουν χρόνια λειτουργίας με την συνεχή παρουσία άμμου και βρωμιάς.

Σχήμα 62: Ασύμμετρες τριβες

Εικόνα 63: Τεστ ανθεκτικότητας του κοχλία

Ο σωλήνας απορρόφησης έχει εσωτερική διάμετρο 18 εκατοστά , και είναι συγκολημένος κατά το μηκος του χωρίς ανάγκη τόξων αντιστάθμισης. Η θερμική διαστολή επιτρέπεται την τοποθέτηση του σωλήνα πάνω σε ράγες.Η συνολική μετακίνηση λόγω της θερμικής διαστολής σε μονάδα μήκους ενός χιλιομέτρου μπορεί να είναι μέχρι 6 μέτρα στο τέλος του ενός σωλήνα.

Στο πρωτότυπο ένας μαύρος (μη επιλεκτικός) απορροφητήρας χρησιμοποιήθηκε, ο οποίος είναι απολύτως επαρκής για το σκοπό του πρωτότυπου . Προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική θερμική απόδοση, ένας εξαιρετικά επιλεκτικός απορροφητής επίστρωσης πρέπει να εφαρμοστεί, ο οποίος πρέπει να είναι σταθερά κάτω από συνθήκες μη κενού μέχρι τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

Η Solarmundo παρουσιάζε δείγματα μιας επιλεκτικής επίστρωσης σε ένα μικρότερο σωλήνα απορρόφησης με τα δύο χαρακτηριστικά: πολύ ελπιδοφόρες οπτικές ιδιότητες και καλή αντοχή σε κανονική ατμόσφαιρα. Επί του παρόντος

γίνονται εργασίες για τη μεταφορά της επίστρωσης στο 8-ιντσο σωλήνα χάλυβα του συλλέκτη.

5.3 Θεωρητική απόδοση του συλλέκτη

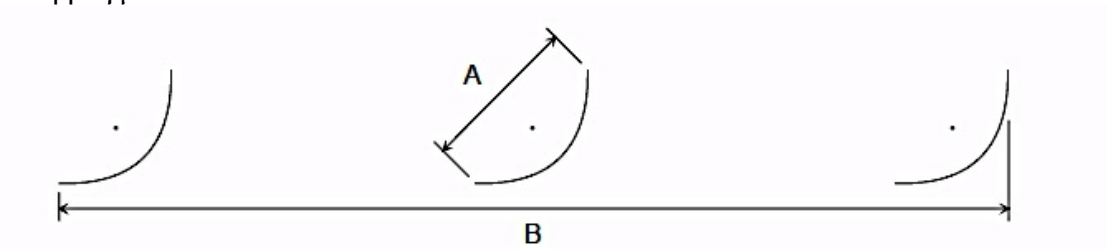
Παρά το γεγονός ότι ο συλλέκτης-πρωτότυπο έχει λειτουργήσει κάτω από πραγματικές συνθήκες και αποδείχτηκε οτι παράγει ατμό, καμία θερμική μετρήση απόδοσης δεν είναι ακόμα διαθέσιμη. Η οπτική και θερμική απόδοση πρέπει να συναχθεί από θεωρητικές εκτιμήσεις. Εδώ παρουσιάζονται υπολογισμοί που δίνουν μια θεωρητική εκτίμηση για την εφικτή ,οπτική και θερμική απόδοση του συλλέκτη Solarmundo Fresnel.

Τα αποτελέσματα Raytracing χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της οπτικής απόδοσης, ενώ η θερμική απόδοση υπολογίστηκε με βάση τα υπολογιστικά δυναμικά υγρού(Computational Fluid Dynamics (CFD)).

5.4 Διάφραγμα, περιοχή ανακλαστήρα και μικτής επιφάνειας

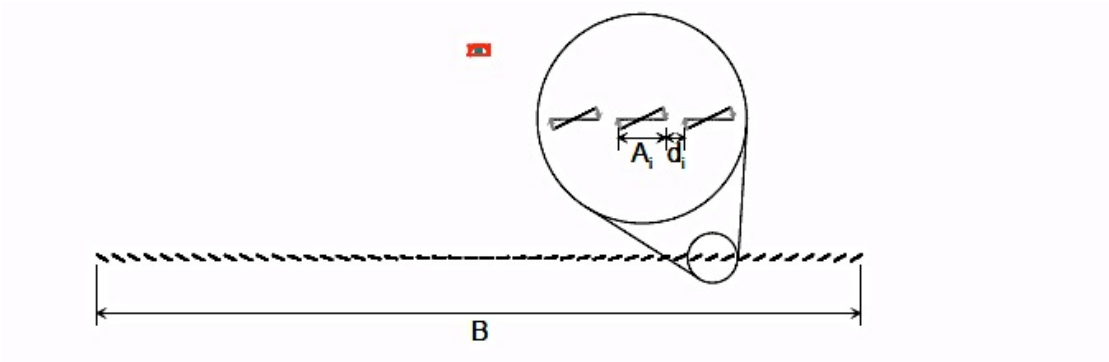
Για την σύγκριση της αποτελεσματικότητας των κοίλων συλλεκτών και των συλλεκτών Fresnel, ένας κοινός χώρος αναφοράς πρέπει να οριστεί. Στο πλαίσιο του έργου που παρουσιάζονται εδώ η ανοικτή περιοχή επιλέχθηκε ως βάση όλες τις συγκρίσεις.

Η επιφάνεια του ανοίγματος της παραβολική γούρνας ορίζεται ως η προβολή της περιοχής του ανακλαστήρα. Η μικτή επιφάνεια ενός συλλέκτη λαμβάνει υπόψη το χώρο ανάμεσα στα αυλάκια, που συνήθως είναι δύο φορές το διάφραγμα.



Σχήμα: Περιοχή του Παραβολικού Κοίλου: άνοιγμα A, ακαθάριστη περιοχή B

Η επιφάνεια του ανοίγματος ενός συλλέκτη Fresnel είναι σχεδόν ταυτόσημη με την περιοχή του ανακλαστήρα, επειδή η καμπυλότητα του μόνού ανακλαστήρα Fresnel μπορεί να αγνοηθεί σε αυτό το πλαίσιο. Τα κενά d_i ανάμεσα στα ενιαίους ανακλαστήρες πρέπει να προστεθούν στην περιοχή διάφραγματος A για να αποδώσουν στην μικτή περιοχή B.



Σχήμα : Περιοχή του Fresnel : άνοιγμα $A = \Sigma A_i$, ακαθάριστη περιοχή B

Εξ ορισμού το άνοιγμα των κοιλωμάτων παρακολουθεί τον ήλιο. Το άνοιγμα ενός συλλέκτη Fresnel παραμένει οριζόντιο παρόλο που η ενιαίες πτυχές Fresnel παρακολουθούν τον ήλιο.

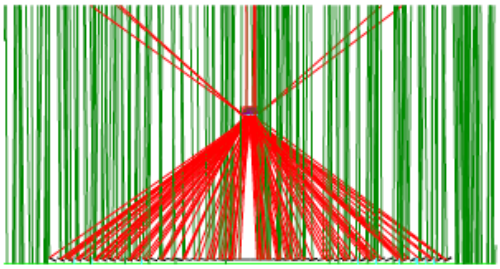
5.5 Οπτική απόδοση

Οι 3-διαστατοι Raytracing υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί με το πρόγραμμα OptiCAD χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους παραμέτρους:

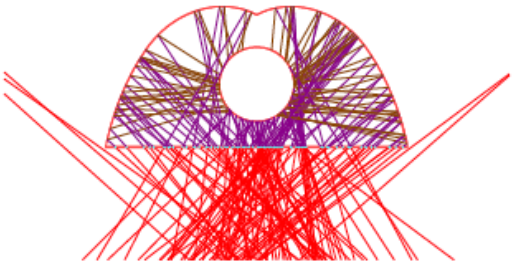
table 1: Material Parameters

reflectance of primary reflector	92%
transmissivity of glass pane	95%
reflectance of secondary reflector	95%
absorptance of absorber tube	94%

Σε σύγκριση με τους προηγούμενους υπολογισμούς μερικές ιδανικές υποθέσεις εξετάστηκαν με περισσότερες λεπτομέρειες:Η απόκλιση της ακτινοβολίας περιλήφθηκε και υποτίθεται ότι είναι ομοιογενής σε ένα ευρύ γωνιακό φάσμα για να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των περιστασιακών ακτινοβολιών.



Σχήμα 64: Raytracing (διατομή)



Σχήμα :αποροφητήρας και δευτεροβαθμιος ανακλαστηρας

Η ανακλαστικότητα των πρωτογενών καθρεφτών διαμορφώθηκε με τη διασπορά της Gaussian διανομής, καθώς και το σφάλμα της θέσης των ανακλαστήρων Fresnel υποτίθεται ότι είναι Gaussian κατανομής. Η

ενσωμάτωση της έντασης όλων των ακτίνων απορρόφησης στον σωλήνα απορροφητήρα δίνει το αποτέλεσμα ότι για τις δεδομένες παραμέτρους και παραδοχές αποροφούνται και μετατρέπονται σε θερμότητα στην επιφάνεια απορρόφησης:

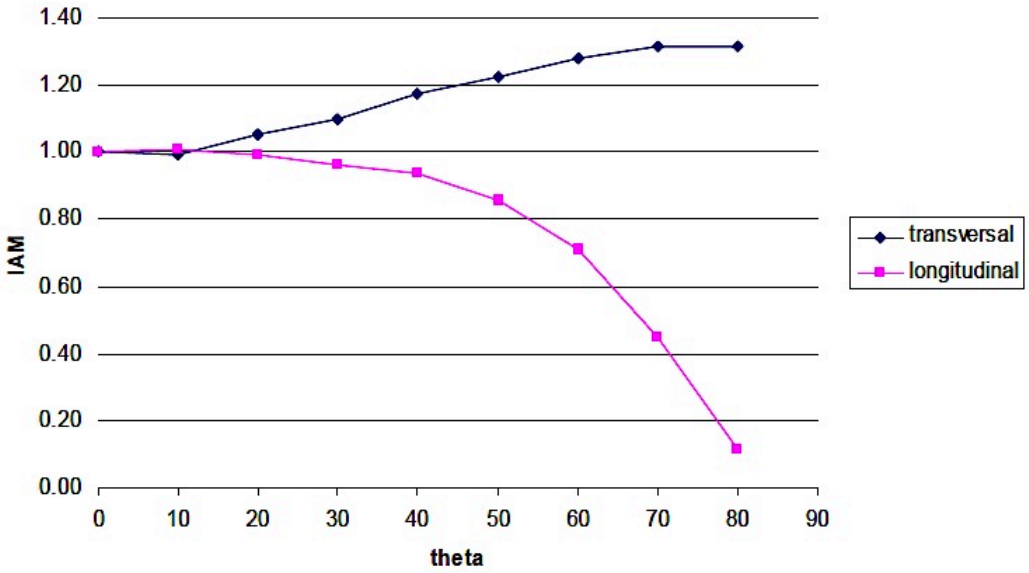
$$n_{0=61\%}$$

της προσπίπτουσας κάθετης ακτινοβολίας (π.χ. στον ισημερινό σε ηλιακό μεσημέρι Μαρτίου ή 21 Δεκεμβρίου). Βρίσκοντας το βαθμό απόδοσης η_0 για γωνίες πρόσπτωσης διάφορες του μηδενός θεωρούμε το λόγο μετατροπής incident angle modifier (IAM) ,ο οποίος παριστάνεται στο σχήμα 64 για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης:

$$\mathrm{IAM}=\frac{n_0(\theta)}{n_0(\theta=0)}$$

Ο λόγος αυτός περιγράφει την αλλαγή στον βαθμό απόδοσης για γωνίες πρόσπτωσης μη κάθετες. Το εγκάρσιο IAMt ορίζεται ως η προβολή του IAM σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα παρακολούθησης. Είναι αξιοπρόσεκτο ότι το $\mathrm{IAM_t}$ παίρνει υψηλές τιμές για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης χάνονται λιγότερες ακτίνες στα χάσματα μεταξύ των καθρεφτών και λιγότεροι γειτονικοί καθρέφτες φωτίζουν ο ένας τη πίσω πλευρά του άλλου αντί να φωτίζουν τον απορροφητή (μικρότερο μπλοκάρισμα).

Το διαμήκες $\mathrm{IAM_l}$ είναι παράλληλο προς τον άξονα παρακολούθησης και καθορίζεται βασικά από το άνοιγμα του γυάλινου παραθύρου του δευτέρου σταδίου του συγκεντρωτή.

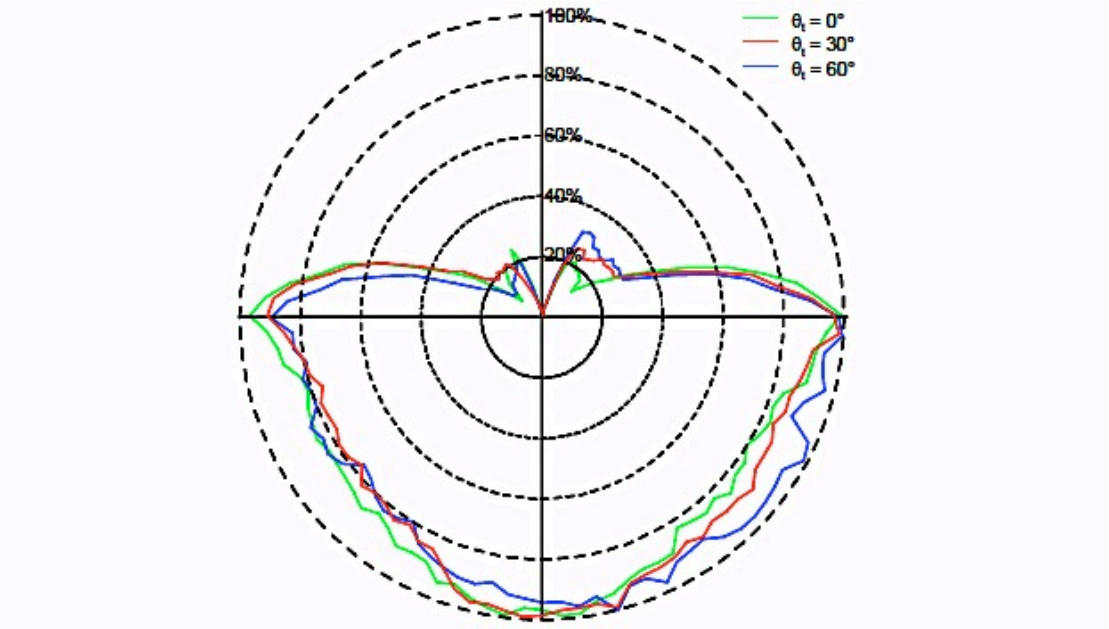


Σχημα 65: λόγος μετατροπης IAM σε σχεση με την γωνία

Ένα πλεονέκτημα των συλλεκτών Fresnel είναι το γεγονός ότι ο απορροφητής φωτίζεται από κάτω, ανεξάρτητα από τη θέση του ηλίου. Αυτό είναι ένα

πλεονέκτημα για τη λειτουργία της στρωματοποιημένης διφασικής ροής, όπου το ρευστό είναι στο χαμηλότερο τμήμα του σωλήνα και ο ατμός είναι στο πάνω μέρος.

Ένα από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων Raytracing είναι η σχετική κατανομή της έντασης στο απορροφητήρα (βλέπε σχήμα 66). Αυτές οι προσομοιώσεις δείχνουν να είναι πολύ ομοιόμορφα κατανεμημένη (μεταξύ 80% και 100% ένταση) στο κάτω μέρος και πολύ χαμηλή στο πάνω μέρος του σωλήνα. Αυτό το μοντέλο δεν αλλάζει σημαντικά για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης.



Σχήμα 66: σχετική κατανομή της έντασης στο απορροφητήρα για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης θt

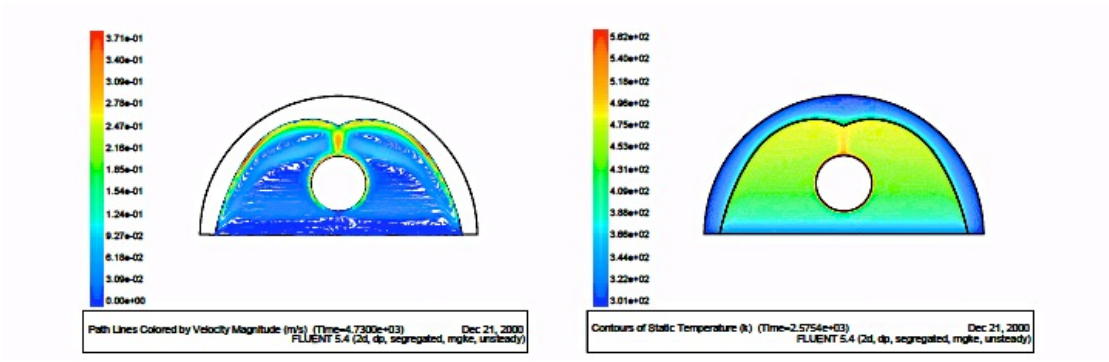
5.6 Θερμική Απόδοση

Για να υπολογίσουμε τις απώλειες θερμότητας από το σωλήνα απορρόφησης, προσομοιώσεις Computational Fluid Dynamics (CFD). πραγματοποιήθηκαν οι οποίες λαμβάνουν υπόψη όλους τους μηχανισμούς μεταφοράς της θερμότητας: ακτινοβολία, συναγωγή, αγωγιμότητα. Εκτός από τη γενική γεωμετρία μια σειρά βασικών παραμέτρων χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη:

table 2: Material Parameters

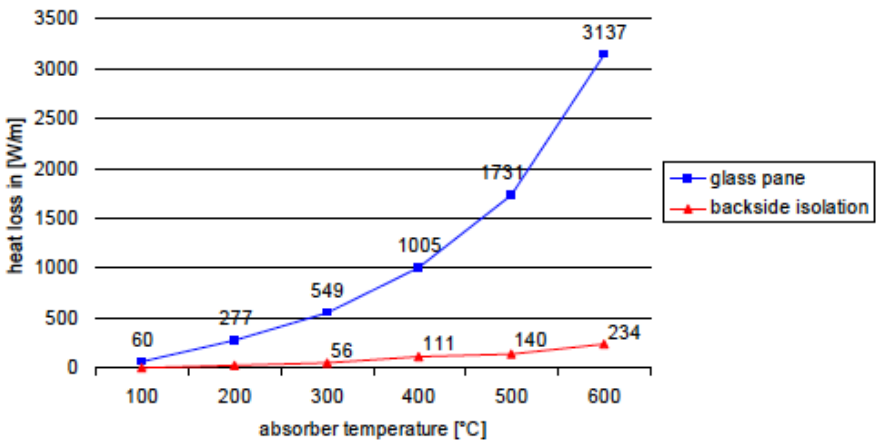
thermal emittance of the absorber	5%
heat transfer coefficient from aperture glass pane and backside of the 2nd stage concentrator to the ambient	10 W/m²K
heat conductivity of backside insulation	0.05 W/mK

Η συναγωγή ροή και η προκύπτουσα κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ του σωλήνα απορρόφησης και το δεύτερου σταδίου του ανακλαστήρα και του υαλοπίνακα μελετήθηκαν για θερμοκρασίες απορροφητήρα από 100 ° C (373K) έως 600 ° C (873K) με σταθερή θερμοκρασία περιβάλοντος στους 30 ° C (303 K).



Σχήμα 67: Γραμμές διαδρομής θερμότητας T_{abs} = 500°C Σχήμα : Διανομή θερμοκρασίας, T_{abs} = 500°C

Η προκύπτουσα ροή θερμότητας στην εμπρός και πίσω πλευρά του σωλήνα απορρόφησης δίνεται στο παρακάτω γράφημα σε μονάδες W/m. (Όπως ήταν αναμενόμενο δείχνει να είναι ισχυρά εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία):



Σχήμα 68: Υπολογισμένες απώλειες θερμότητας στο μπρος και πίσω μέρος του απορροφητήρα

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών ανά μονάδα επιφάνειας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

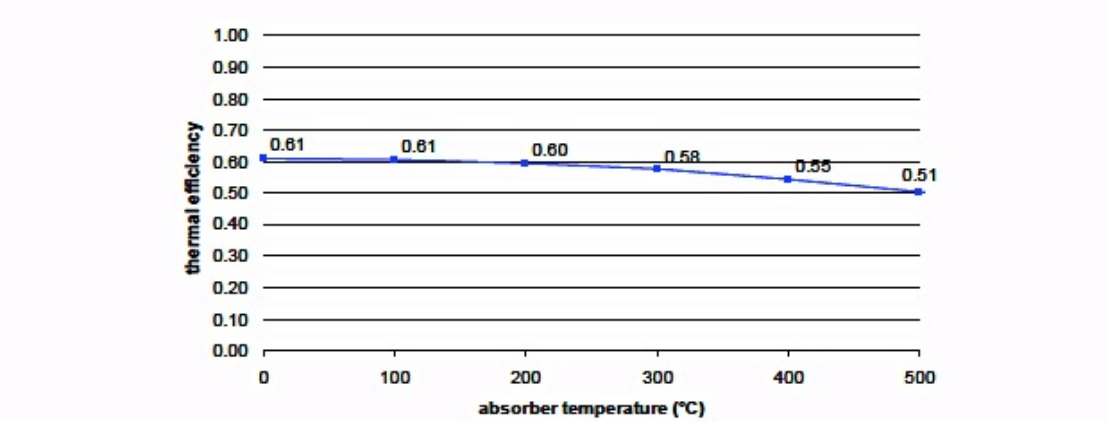
$$u = 3.8 \cdot 10^{-4} \left(T_{\text{absorber}} - T_{\text{ambient}}\right) \qquad \left[\frac{W}{m^2 K}\right]$$

5.7 Καμπύλη της θερμικής απόδοσης

Η θερμική απόδοση είναι:

$$\eta(T_{\text{absorber}}) = \eta_0 - u\ \frac{T_{absorber} - T_{ambient}}{E_{beam}}$$

Το σχεδιάγραμμα που ακολουθεί δίνει την προκύπτουσα καμπύλη της θερμικής απόδοσης για κάθετη ακτινοβολία ($E_{\text{ακτιν.}}$=800W/m^2) σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του απορροφητή σε σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος ($T_{\text{περιβ.}}$=30°C):



Σχήμα 69: Καμπύλη απόδοσγς κατακόρυφης ακτινοβολίας

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μεταφορά θερμότητας από τον απορροφητή στο υγρό πρέπει να θεωρηθεί επιπλέον στον υπολογισμό της θερμικής παραγωγής του συλλέκτη.

5.8 Μοντέλο Προσομοίωσης

Για μια πρώτη σύγκριση του Fresnel και των παραβολικών κοίλων ένα παραβολικό κοίλο επικυρωμένο και προ υπάρχον στο TRANSYS χρησιμοποιήθηκε .Αυτό το μοντέλο παραβολικής γούρνας είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που βασίζεται σε μετρήσεις στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια και λειτουργεί με ένα ρευστό μέσο μεταφοράς θερμότητας (HTF). Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό αυτό είναι αυτές του νέου τύπου SOLEL συλλεκτών που ονομάζονται συλλέκτες UVAC . Η ετήσια απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη με θερμική παραγωγή 152 MW υπολογίστηκε σε ωριαία χρονικά βήματα. Για την παραβολική γούρνα μία επιφάνεια του ανοίγματος 261,600 m^2, και για το σύστημα Fresnel μια περιοχή διαφράγματος των 336,700 m^2 επιλέχθηκε, για να αντισταθμίσει τη χαμηλότερη απόδοση του. Τα στοιχεία της ηλιακής ακτινοβολίας για την τοποθεσία στην Hurguada στην Αίγυπτο υπολογίστηκαν με το λογισμικό METEONORM που χρησιμοποιήθηκε για τον συλλέκτη Fresnel καθώς και για την προσομοίωση της παραβολικής γούρνας. Ο βόρειος-νότιος προσανατολισμός των σωλήνων απορρόφησης θεωρήθηκε και για τα δύο συστήματα.

Η θερμοκρασία εξόδου του παραβολικού τομέα περιορίστηκε σε 393 ° C για να αποφευχθεί η αποσύνθεση της HTF.Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι η ίδια θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκε ως μέγιστη θερμοκρασία του συλλέκτη Fresnel. Το μέρος της θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε από το ηλιακό πεδίο ορίστηκε για τα δύο συστήματα μεταξύ 38 MW και 152 MW. Το ανώτατο όριο προερχόταν από την παραγωγή στον τομέα του σχεδιασμού και το κατώτατο όριο από το μερικό φορτίο περιορισμού του ατμοστροβίλου. Ισχύς 38 MW αντιστοιχούσε στο μερικό φορτίο 25% της τουρμπίνας. Αν η θερμική ενέργεια από το ηλιακό πεδίο ήταν υψηλότερη από το ανώτατο όριο, το μοντέλο ελεγκτή αποσυντόνιζε τα τμήματα του τομέα έως ότου η θερμική έξοδος συναντούσε την επιθυμητή τιμή. Αν η θερμική ενέργεια από τον τομέα ήταν χαμηλότερη από 38 MW το σύνολο της παραγωγής αποβαλόταν.

Ο συλλέκτης Fresnel διαμορφώθηκε στο ColSim περιβάλλον προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένης της άμεσης παραγωγής ατμού (Δύο φάσεων ροή). Το ColSim είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο αναπτύχθηκε στο Fraunhofer ISE, αρχικά για να διερευνήσει διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου των ηλιακών συστημάτων συλλέκτη. Περαιτέρω υποθέσεις ήταν η παραμέληση της ολίσθησης ατμού και η θερμοδυναμική ισορροπία των δύο φάσεων. Εκτιμόντας τη θερμική απόδοση του τρίτου σταδίου της άμεσης παραγωγής ατμού για μια πρώτη προσέγγιση, η απόδοση (μάζα ροής στις προϋποθέσεις που απαιτούνται) για κάθε τμήμα υπολογίστηκε σε εξάρτηση από την ηλιακή ακτινοβολία. Λόγω των διαφόρων διαφορών θερμοκρασίας και ενθαλπίας η προσβάσιμη ροή μάζας ποικίλλει. Λόγω του γεγονότος, ότι η ροή μάζας σε κάθε τμήμα έπρεπε να είναι πανομοιότυπη, το τμήμα με τη μικρότερη ροή μάζας περιόριζε την απόδοση του τομέα. Τα άλλα τμήματα πρέπει να είναι ανενεργά για να προσαρμόσουν τη δύναμή τους.

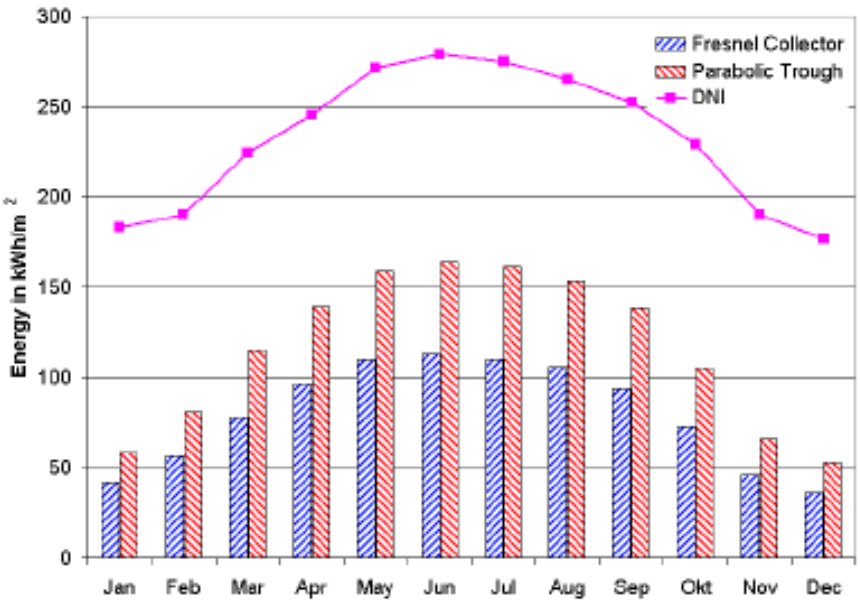
5.9 Αποτελέσματα της προσομοίωσης

Η σύγκριση των ετήσιων αποτελεσμάτων για το Fresnel και το παραβολικό κοίλο συλλέκτη δίνεται στον πίνακα 15. Όλες οι τιμές ανάγονται σε 1 m^2 επιφάνειας του ανοίγματος. Το Fresnel δείχνει απόδοση του 34,5% της Καθετης Αμεσης Ακτινοβολίας, ενώ η παραβολική γούρνα εκμεταλλεύεται το 50,1% της (Direct Normal Irradiance (DNI)).

Πίνακας 15: Αποτελέσματα του ετήσιου υπολογισμού της απόδοσης για τους γραμμικούς συλλέκτες Fresnel και τους παραβολικούς συλλέκτες στην Hurguada (Αίγυπτος)

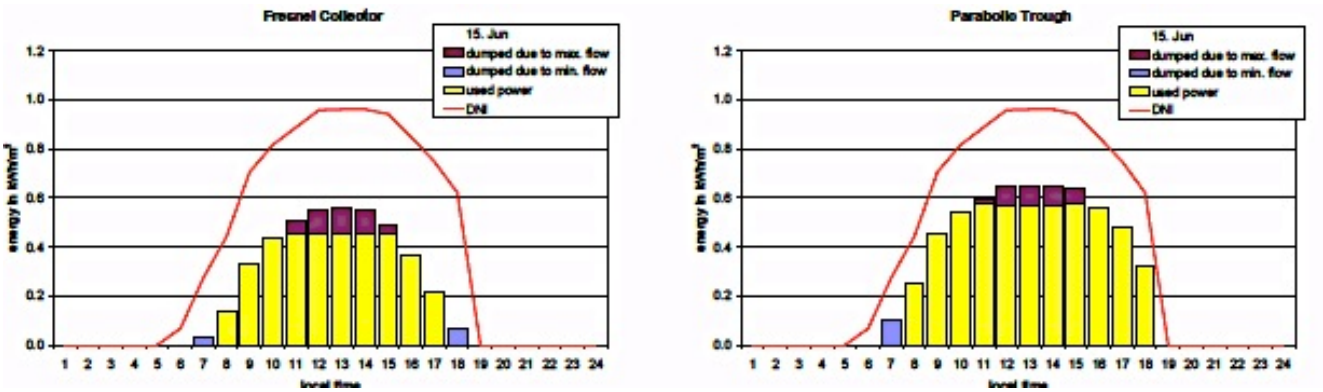
	Fresnel collector			Parabolic trough collector			
Direct normal irradiance	used Energy	lower limit dumping	upper limit dumping	used Energy	lower limit dumping	upper limit dumping	
2782	958	41	44	1393	38	27	kWh/m^2

Στο σχήμα 69 απεικονίζονται οι μηνιαίες τιμές για τα δύο συστήματα. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις εποχιακες επιδόσεις μεταξύ του Fresnel και του παραβολικού συλλέκτη.



Σχήμα 69: Μηνιαίες τιμές για την χρησιμοποιούμενη ενέργεια ανα τ.μ. ανοίγματος για το παραβολικό κοίλο και το σύστημα Fresnel στην Hurguada (Αίγυπτος)

Στο σχήμα 70 φαίνεται η σύγκριση των επιδόσεων για μία μόνο ημέρα. Η ημερομηνία επιλέχθηκε αυθαίρετα. Αυτό το σχήμα δείχνει ότι το σύστημα Fresnel είναι λιγότερο αποτελεσματικό νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα λόγω των επίπεδων γωνίων προσπτωσης στο άνοιγμα.



Σχήμα 70: Απόδοση του Fresnel και του παραβολικού κοίλου για μια μέρα.

5.10 Συμπεράσματα και επόμενα βήματα

Το έργο που παρουσιάζεται εδώ δείχνει ότι ο συλλέκτης Solarmundo Fresnel έχει απόδοση περίπου ίση με το 70% της θερμικής απόδοσης των παραβολικών

γούρνων Universal Vacuum Collector (UVAC) ανά επιφάνεια του ανοίγματος. Ωστόσο, η χαμηλότερη απόδοση υπερκαλύπτεται από το σημαντικά χαμηλότερο κόστος επενδύσης ,λειτουργίας και συντήρησης του πεδίου του συλλέκτη.

Με τα στοιχεία κόστους των Solarmundo και τα δεδομένα απόδοσης, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας του συλλέκτη τύπου Fresnel είναι περίπου 10% κάτω από το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας του παραβολικού κοίλου.Φυσικά τα παραβολικά κοίλα εχουν το μεγάλο πλεονέκτημα να είναι πειραματικά και εμπορικά επικυρωμένα ενώ τα στοιχεία του συλλέκτη Solarmundo είναι μόνο θεωρητικά. Γι 'αυτό το επόμενο βήμα για τους συλλέκτες Fresnel πρέπει να είναι μια πιλοτική μονάδα κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας συμπεριλαμβανομένων και των εμπορικών πτυχών.

Οι συλλέκτες Fresnel παρουσιάζουν επιπλέον πλεονεκτήματα, όπως η απλότητα και η χρήση της γης κάτω από τα πεδία του καθρέφτη, που είναι υπέρ τους εκτός από το καθαρό κόστος.

6. Η κατάσταση στην αγορα βάσει περιοχής

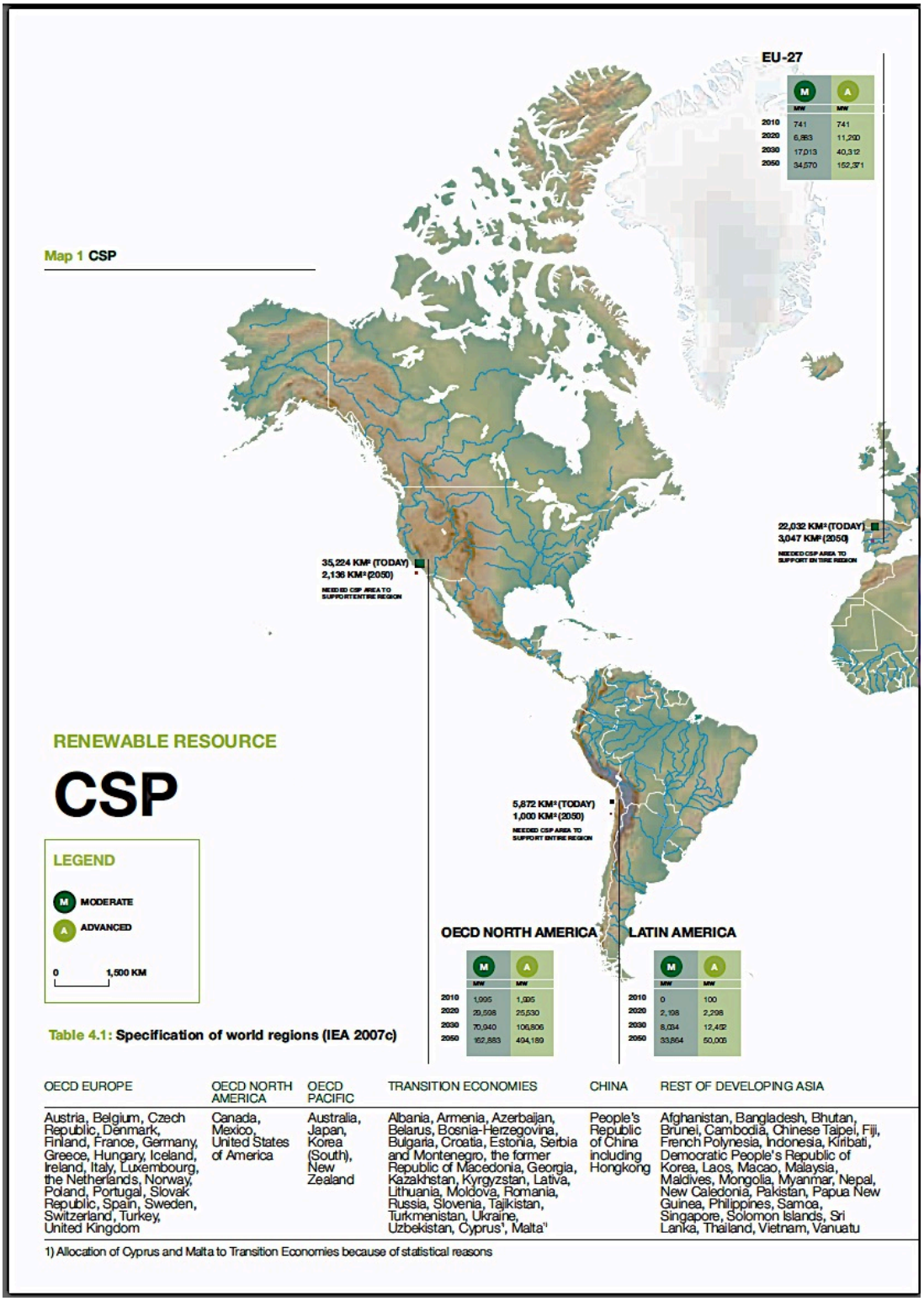
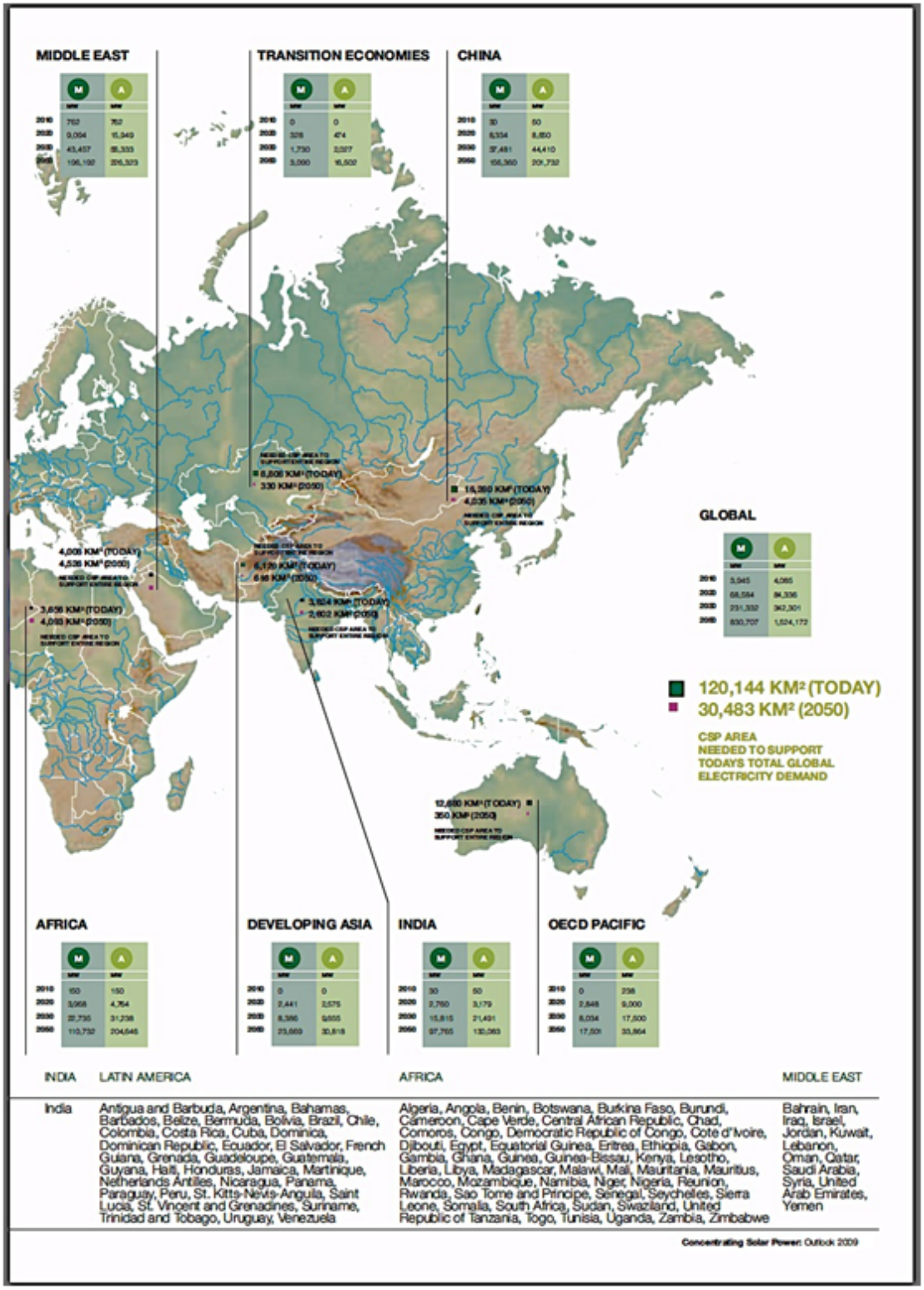


Table 4.1: Specification of world regions (IEA 2007c)

OECD EUROPE	OECD NORTH AMERICA	OECD PACIFIC	TRANSITION ECONOMIES	CHINA	REST OF DEVELOPING ASIA
Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom	Canada, Mexico, United States of America	Australia, Japan, Korea (South), New Zealand	Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Estonia, Serbia and Montenegro, the former Republic of Macedonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Lativa, Lithuania, Moldova, Romania, Russia, Slovenia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan, Cyprus[1], Malta[1]	People's Republic of China including Hongkong	Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, Brunei, Cambodia, Chinese Taipei, Fiji, French Polynesia, Indonesia, Kiribati, Democratic People's Republic of Korea, Laos, Macao, Malaysia, Maldives, Mongolia, Myanmar, Nepal, New Caledonia, Pakistan, Papua New Guinea, Philippines, Samoa, Singapore, Solomon Islands, Sri Lanka, Thailand, Vietnam, Vanuatu

1) Allocation of Cyprus and Malta to Transition Economies because of statistical reasons



Σχήμα:Παγκόσμιος Χαρτης Ηλιακών Συγκεντρωτικών Συστημάτων

Μέση Ανατολή και Ινδία

Ισραήλ

Το 2002, το Ισραηλινό Υπουργείο Εθνικών Υποδομών,υπέυθυνο για τον τομέα της ενέργειας, έκανε τα CSP στρατηγικό στοιχείο της αγοράς ηλεκτρικής

ενέργειας. Το Ισραήλ εισήγαγε ανεξάρτητες ηλιακές μονάδες (IPP) από το Σεπτέμβριο του 2006 και έδωσε κίνητρα για 20 χρόνια.

Μετά από αυτό, η Greenpeace δημοσίευσε μια ανάλυση κόστους-οφέλους για την ηλιακή ενέργεια στο Ισραήλ, αναφέροντας την χρήση έως και 2.000 MW ηλιακής ενέργειας μέχρι το 2025.

Το Ισραήλ έχει τώρα feed-in-tariff από την πολιτεία για 16,3 σεντς του δολαρίου / kWh (Νοέμβριος 2006) για άνω των 20 MW εγκατεστημένη δυναμικότητα και ανώτατο όριο εφεδρικών ορυκτών 30% της παραγόμενης ενέργειας. Το FIT(feed-In-Tariff)για μικρότερες μονάδες των 100 kW έως 20 MW είναι περίπου 20,4 σεντ δολλαρίου/ kWh για τα πρώτα 20 χρόνια (Νοέμβριος 2006). Τον Φεβρουάριο του 2007, το ισραηλινό υπουργείο επέτρεψε την κατασκευή ενος CSP στο Ashalim, στα νότια του Ισραήλ. Το έργο αποτελείται από δύο ηλιακές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, το καθένα με ικανότητα από 80MW ως 125MW και αθροιστικά έως 220MW εγκατεστημένη ισχύ συν ένα φωτοβολταϊκό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ικανότητας 15MW με δυνατότητα αύξησης κατά 15MW.

Τουρκία

Η Τουρκία διαθέτει ένα σημαντικό δυναμικό υδροηλεκτρικής, αιολικής,ηλιακής, γεωθερμικής ενέργειας και ενεργειακούς πόρους βιοκαυσίμων σε σύγκριση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Το δυναμικό της ολικής ηλιακής ενέργειας της Τουρκίας είναι 131 TWh το χρόνο και η παραγωγή ηλιακής ενέργειας και έχει ως στόχο να φθάσει 4,2 TWh το 2020.Η Τουρκία θέσπισε τον πρώτο νόμο για τα ΑΠΕ τον Μάιο του 2005 (('Law on Utilisation of Renewable Energy Sources for the Purpose of Generating Electrical Energy'). Ο Νόμος για τα ΑΠΕ λειτουργεί σύμφωνα με τα Πιστοποιητικά Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RES Certificate). Ο νόμος εισήγαγε πάγια τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα ΑΠΕ με την υποχρέωση αγοράς για τις εταιρείες διανομής που κατέχουν λιανικές άδειες από τους πιστοποιημένους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται σύμφωνα με την διάταξη αυτή καθορίζεται από το EMRA(s Energy Market Regulatory Authority (EMRA)). Το αρχικό ποσό ήταν 9,13 YKr ανά kWh το 2007, (περίπου 5,2 λεπτά του ευρώ ανά kWh) για τα πρώτα 10 χρόνια της λειτουργίας.

Αυτή τη στιγμή γίνονται τροποποιήσεις στα ΑΠΕ. Το Σχέδιο Νόμου για τα ΑΠΕ περιλαμβάνει ένα FIT για τα CSP από 24 λεπτά του ευρώ ανά κιλοβατώρα για τα πρώτα 10 χρόνια και μια πτώση έως 20 λεπτά του ευρώ ανά κιλοβατώρα για τα δεύτερα 10 χρόνια,για πολιτική 20 χρόνων.Οι Νομοθεσίες συζητούν επίσης μια πρόσθετη ταρίφα για τα πρώτα πέντε έτη, εάν τουλάχιστον το 40% του εξοπλισμού κατασκευάζεται στην Τουρκία.

Ιορδανία

Η Ιορδανία έχει ένα μακροχρόνιο ενδιαφέρον για μεγάλης κλίμακας ηλιακής-θερμικής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τα τελευταία 10 χρόνια έχουν γίνει πολλές προτάσεις και αναλύσεις του ηλιακού θερμικού δυναμικού στην Ιορδανία, παρόλη την δυσκολία λόγω του πολέμου στον Περσικό Κόλπο. Το 2002, η κυβέρνηση δημοσίευσε μια ενημερωμένη έκδοση της βιομηχανίας που δήλωσε ότι οι πρώτες 100-150 MW ηλιακές-υβριδικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να οργανωθουν και να λειτουργήσουν στο Quwairah μέχρι το 2005. Η σύμβαση κατακυρώθηκε από την SOLAR MILLENINIUM, αλλά σταμάτησε. Μια κοινοπραξία των ερευνητικών ιδρυμάτων ξεκίνησε μια μελέτη το 2007, σχετικά με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα ηλιακών εφαρμογών αφαλάτωσης, ως ένα βήμα προς την κατασκευή μιας πιλοτικής ηλιακής μονάδας αφαλάτωσης για το Ισραήλ και την Ιορδανία.

Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα(ΗΑΕ)

Τα ΗΑΕ, ιδιαίτερα το Αμπού Ντάμπι , έχουν αρχίσει μια σημαντική πρωτοβουλία για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η οποία είναι υπό ανάπτυξη, που θα βοηθήσει στην ανάπτυξη στο μέλλον της παγκόσμιας οικονομίας. Η ανάπτυξη επιδιώκεται κυρίως από την εταιρία Masdar η οποία έχει δρομολογήσει διάφορα έργα ΑΠΕ, μεταξύ των οποίων ένα 100MW ηλιακό CSP εργοστάσιο.

Ινδία

Στην Ινδία, υπάρχει ένα πολύ ελπιδοφόρο ηλιακό δυναμικό, με ετήσια ακτινοβολία μεταξύ 1600 και 2200 kWh/m^2, η οποία είναι χαρακτηριστική των τροπικών και υποτροπικών περιοχών. Η εκτίμηση της ινδικής κυβέρνησης είναι ότι μόλις το 1% της ξηράς της Ινδίας θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της ενέργειας μέχρι το 2030.Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Κλιματική Αλλαγή προτείνει ορισμένα συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής, συμπεριλαμβανομένων των έρευνών και της ανάπτυξης για να μειωθεί το κόστος παραγωγής και της συντήρησης και έχει θεσπίσει ένα κέντρο έρευνας ηλιακής ενέργειας με στόχο τη δημιουργία τουλάχιστον 1000MW συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας στην Ινδία ως το 2017.

Ο στόχος της Solar Mission είναι η ανάπτυξη βασικού φορτίου τιμών και η παραδοτέα συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας να είναι οικονομικά ανταγωνιστική έναντι των ορυκτών καυσίμων μέσα σε 20 – 25 χρόνια. Η ινδική κυβέρνηση δοκιμάζει FIT για την ηλιακή ενέργεια μέχρι 10 ρουπίες ανά kWh (19 σεντ ΗΠΑ) για 10 έτη λειτουργίας, με όριο 10 MW για κάθε περιοχή .Φαίνεται να έχει ανανεωθεί το διεθνές ενδιαφέρον για την Ινδία. Τον Μάρτιο του 2009 , η eSolar από την Καλιφόρνια ανακοίνωσε μια συμφωνία για άδεια χρήσης της ηλιακής ενέργειας για την κατασκευή μέχρι 1 GW ηλιακών φωτοβολταϊκών πάρκων στην Ινδία κατά την επόμενη δεκαετία.

Ιράν

Η Ισλαμική Δημοκρατία του Ιράν έχει δείξει ενδιαφέρον για την τεχνολογία ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, για να εκμεταλλευθούν το άφθονο ηλιακό δυναμικό τους μέσω της CSP τεχνολογίας. Η κυβέρνηση θέλει επίσης να διαφοροποιήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το πετρέλαιο της χώρας και τα αποθέματα φυσικού αερίου. Το 1997, η Εταιρεία Ανάπτυξης Ενέργειας του Ιράν ανέλαβε μια ολοκληρωμένη μελέτη σκοπιμότητας σχετικά με έναν Ηλιακό Συνδυασμένο Κύκλο τεχνολογίας κοίλου με τεχνολογία από το Κέντρο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (τώρα NIROO Ινστιτούτο Έρευνας) και Fichtner (Τώρα Fichtner Solar).

Το Esfahan, Fars, Kerman και Yazd είναι εξαιρετικές περιοχές για την εγκατάσταση ηλιακής θερμικής ενέργειας στο Ιράν, αλλά το Yazd, όπου ολόκληρο το οροπέδιο χαρακτηρίζεται από άμεση ετήσια κανονική ακτινοβολία πάνω από 2.500 kWh/m^2 τελικά επιλέχτηκε ως τοποθεσία για το πρώτο εργοστάσιο. Δεν υπάρχουν νέες εξελίξεις στην αγορά που να έχουν ανακοινωθεί από τότε.

Αφρικη

Αλγερία

Η Αλγερία διαθέτει εξαιρετικό ηλιακό δυναμικό με πάνω από 2.000 kWh/m^2/έτος άμεσο ηλιακό φως. Σε εθνικό επίπεδο, υπάρχει ένας στόχος για την παροχή του 10% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2025.
Η Αλγερία διαθέτει μια εσωτερική δέσμευση για την αύξηση του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας κατά 5% μέχρι το 2015, αλλά πέρα από αυτό, εξετάζουν το ενδεχόμενο μιας εταιρικής σχέσης με Ευρωπαικούς εταίρους στην οποία οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Αλγερίας να παραδίδουν πράσινη ενέργεια που απαιτείται για την Ευρώπη να επιτύχει τους στόχους της. Μια νέα εταιρεία με την επωνυμία Νέα Ενέργεια της Αλγερίας (Neal) δημιουργήθηκε για να ενισχύσει τη συμμετοχή των τοπικών και διεθνών τομέων.

Το 2004, η αλγερινή κυβέρνηση δημοσίευσε την πρώτη ταρίφα με αυξημένα τιμολόγια για παραγωγή από ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που ονομάζεται «Διάταγμα Περιφερειακής Κυβέρνησης 04 - 92 "στην Επίσημη Εφημερίδα της Αλγερίας No. 19 για την προώθηση της παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας με ολοκληρωμένους ηλιακούς κύκλους. Το διάταγμα ορίζει υψηλές τιμές για την ηλεκτρική ενέργεια παραγωγής από ISCCS, ανάλογα με την ηλιακή μετοχή,κατά την οποία το 5-10% ηλιακού μεριδίου μπορεί να κερδίσει το 100% της ταρίφας , ενώ ένα ηλιακό μερίδιο άνω του 20% μπορεί να κερδίσει μέχρι και 200% του κανονικού τιμολογίου.

Το 2005, το Neal ξεκίνησε μια αίτηση για την υποβολή προτάσεων για εργοστάσιο 150 MW ISSC με 25 MWe ηλιακό δυναμικό από παραβολικά κοίλα.Το έργο κλήθηκε για ταρίφα κάτω των 6 cents/kWh, με ένα ηλιακό μερίδιο άνω του 5% και ένα εσωτερικό ποσοστό απόδοσης της τάξης του 10 έως 16%. Η Abengoa κέρδισε το διαγωνισμό και η ηλιακή θερμική μονάδα τους

είναι τώρα υπό κατασκευή στο Hassi R'Mel. Δύο ακόμη έργα σχεδιάζονται : δύο 400 MW ISCC εγκαταστάσεις με 70 MW CSP η κάθε μία, για να αναπτυχθεί μεταξύ 2010 και 2015.

Μαρόκο

Το Μαρόκο ανέλαβε τη διενέργεια έρευνας στην ηλιακή θερμική ενέργεια το 1992 με χρηματοδότηση από την ΕΕ .Το 1999, η Global Environmental Facility (GEF),απένειμε 700.000 δολάρια επιχορήγηση στην ΟΝΕ για να προετοιμάσει τις τεχνικές προδιαγραφές, τα έγγραφα προσφοράς και την αξιολόγηση των προσφορών για 228MWe Ολοκληρωμένο Ηλιακό Συνδυασμένο Σύστημα Κύκλου με 30 Mwe ηλιακό πεδίο περίπου 200.000 τ.μ.. Η χορήγηση 50 εκατ. Δολαρίων από τις ΗΠΑ θα καλύψει το οριακό κόστος.

Το 2004 δημοσιεύτηκε η General Procurement Notice και η αντίδραση του κλάδου ήταν υψηλότερη, με τέσσερις διεθνείς κοινοπραξίες.Τα έγγραφα των προσφορών υποβλήθηκαν στην Παγκόσμια Τράπεζα το 2005. Η χρηματοδότηση θα γίνει από την Αφρικανική Τράπεζα Ανάπτυξης. Η σύμβαση πήγε στην θυγατρική Abengoa Abener, δίνοντας στην ισπανική εταιρεία το πράσινο για την κατασκευή του σταθμού 470 MW στο Beni Mathar στα βορειοανατολικά.

Αίγυπτος

Δύο προκαταρκτικές μελέτες σε παραβολικές-γούρνες και κεντρικούς πύργους ισχύος έγιναν το 1995, ακολουθούμενη από μια μελέτη από τις SolarPACES το 1996 και η Αίγυπτος αποφάσισε τον πρώτο Ολοκληρωμένο Συνδυασμένο Ηλιακό Κύκλο συνολικής ισχύος 140 MW με παραβολικό κοίλο 20 MW. Η GEF παρείχε ισυμβουλευτικές υπηρεσίες και προσφέρθηκε να καλύψει το οριακό κόστος. Η πρώτη φάση ολοκληρώθηκε το 2000 και ακολούθησαν και αλλοι υποψηφιοι επενδυτές το 2001. Το έργο καθυστέρησε λόγω της υψηλής ισοτιμίας δολαρίου και της αιγυπτιακής λίρας.

Στα μέσα του 2003, η Παγκόσμια Τράπεζα αποφάσισε να αλλάξει την προσέγγισή της, επιτρέποντας τη συμμετοχή και του ιδιωτικού τομέα. Τον Φεβρουαρίο του 2004, 35 επιχειρήσεις εκδήλωσαν το ενδιαφέρον τους σε μια γενική προκήρυξη διαγωνισμού. Το 2007 οι συμβάσεις χορηγήθηκαν στην Iberdrola και την Mitsui για τον Συνδυασμένο Κύκλο Ισχύος και σε μια κοινοπραξία των Orascum και Flagsol για την κατασκευή του ηλιακού πεδίου. Το εργοστάσιο είναι τώρα υπό κατασκευή.

Νότια Αφρική

Η κυβέρνηση της Νότιας Αφρικής έχει θέσει ως στόχο 10.000 GWh από ΑΠΕ (κυρίως από βιομάζα, αιολική, ηλιακή και υδροηλεκτρική ενέργεια μικρής κλίμακας) ως το 2013. Αυτό είναι ισοδύναμο με ηλεκτρισμό περίπου 2 εκατομμύρια νοικοκυριών με ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 5 000

kWh. Αυτό είναι περίπου το 5% της σημερινής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Νότια Αφρική.

Τον Μάρτιο του 2009,η Εθνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας της Νότιας Αφρικής (NERSA) ενέκρινε τα τιμολόγια τροφοδότησης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας REFIT.Η ταρίφα(FIT) για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι 2,10 R / kWh για συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια . Η διάρκεια της ισχύος είναι 20 χρόνια.

Μέσα στα επόμενα έτη , η νοτιοαφρικανική επιχείρηση ηλεκτρισμού, Eskom, θα μπορούσε να λειτουργήσει το μεγαλύτερο κεντρικο δέκτη CSP στον κόσμο. Η Eskom ανέλαβε μια μελέτη ενος 100-MW πιλοτικού έργου κεντρικής μονάδας δέκτη λιωμένου αλατιού στα μέσα του 2008. Η Eskom είχε μελετήσει στο παρελθόν τόσο παραβολικά κοίλα όσο και δέκτες κεντρική τεχνολογίας για να καθορίσει ποια είναι η φθηνότερη από τις δύο.Τελικά, η απόφαση θα πρέπει να βασίζεται σε μια ποικιλία παραγόντων συμπεριλαμβανομένου του κόστους και το ποιό εργοστάσιο μπορεί να κατασκευαστεί με το πιο τοπικό περιεχόμενο. Η αίτηση για την υποβολή προσφορών κυκλοφόρησε το πρώτο εξάμηνο του 2009.

Για την περεταίρω ανέπτυξη των CSP, η κυβέρνηση στηρίζει την έρευνα μέσω του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας, παρέχοντας χρηματοδότηση στα πανεπιστήμια γιαυτό.

Υπάρχει ένα ερευνητικό πρόγραμμα Διεθνούς Ηλιακής και CSP τεχνολογίας και ετσι υπάρχει η δυνατότητα στην Νότια Αφρική να δημιουργήσει ένα Διεθνή Ηλιακό/CSP κέντρο στο μέλλον.

Ισπανία

Η Ισπανία είναι πρωτοπόρος στην ανάπτυξη των SCP.Πρώτον, έχει 500 MW εγκατεστημένων εγκαταστάσεων. Δεύτερον, ήταν η πρώτη της Νότιας Ευρώπης που καθιέρωσε σύστημα χρηματοδότησης «βασισμένη στην ταρίφα». Οι CSP εγκαταστάσεις έως 50 MW, έχουν τώρα ένα σταθερό δασμό (FIT) ετησίως με 26,9 ευρωσέντ/ kWh για 25 χρόνια με πληθωρισμό μία εκατοστιαία μονάδα. Μετά από 25 χρόνια η ταρίφα πέφτει στα 21,5 λεπτά του ευρώ / kWh. Η διατίμηση αυτή ορίστηκε με το Βασιλικό διάταγμα 661 του 2007. Χώρισε το τιμολόγιο από το τιμή αναφοράς στην αγορά, η οποία ανεβαίνει με τις τιμές του πετρελαίου,με αυτόματη αύξηση των τιμολογίων των ανανεώσιμων πηγών.

Η Ισπανία αύξησε σταδιακά το τιμολόγιο, από τις 12 λεπτά του ευρώ ανά kWh το 2002, σε 27 λεπτά του ευρώ ανά κιλοβατώρα από το 2004. Η απόφαση του 2004 προκάλεσε πολλές προτάσεις ανάπτυξης, αλλά ήταν μόνο με την αύξηση στα σημερινά επίπεδα που ένας μεγάλος αριθμός των έργων έγιναν διαπραγματεύσιμα. Το διάταγμα του 2007, κρατά κάποια βασικά στοιχεία του πρώην διάταγματος του 2004 (RD 436).

Ειδικότερα, κάνει σχέδια διαπραγματεύσιμα με 25-χρόνη εγγυηση και επιτρέπει 12-15% εφεδρικό φυσικό αέριο ασφαλείας για να επιτρέψει τη βελτιστοποιημένη λειτουργία της μονάδας. Προς το παρόν, ο στόχος υπερβαίνεται από τον αριθμό των προγραμματισμένων εγκαταστάσεων. Η καλύτερη απόδειξη της επιτυχίας της ισπανικής υποστήριξης των CSP είναι η

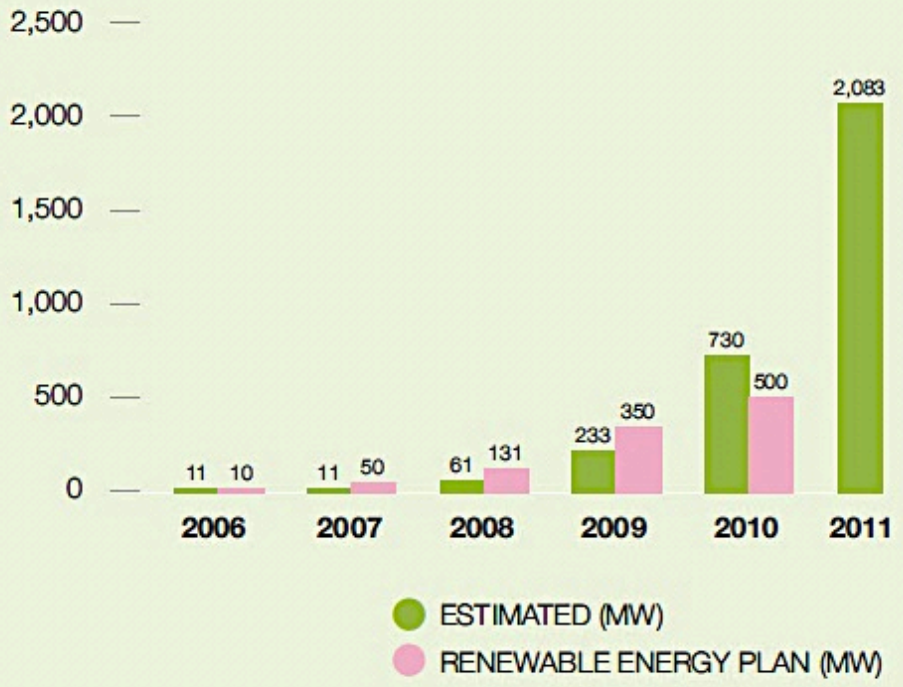
τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξης των έργων στη χώρα. Το 2009 υπήρχαν έξι σταθμοί σε λειτουργία, ύψους 81 MW συν άλλοι 12 σταθμοί υπό κατασκευή, προσθέτοντας περαιτέρω 839 MW. Περισσότερα έργα έχουν ανακοινωθεί για αρκετές χιλιάδες μεγαβάτ. (Βλέπε πίνακα παρακάτω).

Τα στοιχεία και το γράφημα που παρέχονται από την Protermosolar και IDAE δείχνουν πως η ανάπτυξη ξεπερνάει τους στόχους και πόσες δυνατότητες έχει η Ισπανία να εισαγάγει συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια σε μορφή ενεργειακού εφοδιασμού.

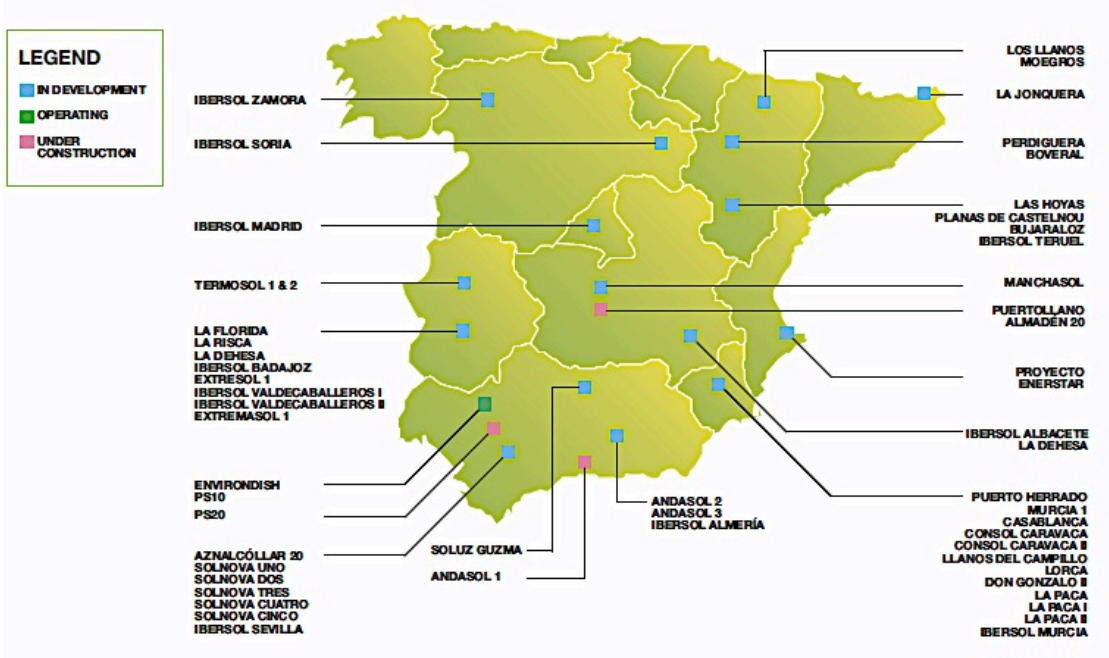
Οι Εθνικές Επιτροπές της Ενέργειας είναι υπεύθυνες για την παρακολούθηση του μητρώου των εγκαταστάσεων. Εχουν καθιέρωσει ένα δικτυακό τόπο που θα δείχνει την πρόοδο του εθνικού στόχου των εγκαταστάσεων που έχουν εκπληρώσει όλες τις απαιτήσεις για την κατασκευή. Όταν το 85% του στόχου έχει επιτευχθεί, η αρχή θα καθορίσει πόσα περισσότερα πρόσφατα εγγεγραμμένα έργα μπορούν να διεκδικήσουν την πριμοδότηση σταθερού τιμολογίου. Η βιομηχανία απαιτεί τώρα μεγαλύτερη βεβαιότητα σχετικά με το επίπεδο των στόχων, έτσι ώστε οι επενδύσεις σε μελλοντικά σχέδια να μπορούν επίσης να είναι εγγυημένες.

Ο αναθεωρημένος νόμος πρέπει επίσης να καταργήσει το ισχύον όριο των 50 MW ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας που ναι το νομιμο για να είναι επιλέξιμες για την επιδότηση, γιατί αυτό είναι τώρα χαμηλότερο από το οικονομοτεχνικό βέλτιστο.

In operation:	81 MW
In construction:	839 MW
In development (close to construction starting)	2, 083 MW
Proposed (in early permitting stage)	7, 830 MW
Total under development	10,813 MW
Additional (Have paid the grid connection fee)	3,418 MW
Total all potential projects in Spain (April 2009)	14,231MW



Σχήμα: Κατά τη στιγμή της σύνταξης αυτης της έκθεσης έξι εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας ήταν στη λειτουργία, συνολικά 81MW, συν ένα άλλες 12 εγκαταστάσεις υπό κατασκευή, δλδ προσθέτοντας άλλα 839MW.



Εικόνα:Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα στην Ισπανία

Ιταλία.

Η Ιταλία (Direct Normal Irradiance (DNI) περίπου 2000 kWh/m^2 το έτος) έχει ξεκινήσει την προώθηση των CSP για την αύξηση του ποσοστού των ΑΠΕ στην συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τον Μάιο του 2008, το ιταλικό διάταγμα 11.4.2008 πέρασε τη θέσπιση των κριτηρίων και τρόπων για την προώθηση της ηλιακής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα σημαντικότερα σημεία είναι:

-Κίνητρα για την ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή θερμική ή από υβριδικούς ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς περιορισμούς όσον αφορά την ηλιακή μετοχή. Η ταρίφα(FIT) ήταν: 28 σεντ του ευρώ / kWh$_e$ για ένα ηλιακό μερίδιο έως και 0,15, 25 ευρωλεπτά/kWh$_e$ για μια ηλιακή μετοχή μεταξύ 0,15 και 0,50 και 22 ευρωλεπτά/kWh$_e$ για μεγαλύτερη ηλιακή μετοχή.

-Τα κίνητρα παραμένουν τα ίδια εδώ και 25 χρόνια, χωρίς καμία προσαρμογή για τον πληθωρισμό.

-Τα κίνητρα ισχύουν για τις εγκαταστάσεις σε λειτουργία πριν την 31η Δεκεμβρίου 2012. Τα κίνητρα των τιμολογίων θα μειωθούν κατά 2% κάθε ημερολογιακό έτος για τις εγκαταστάσεις που ξεκινούν τη λειτουργία.Τα τιμολόγια θα καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψιν το κόστος των συμβατικών καυσίμων και τα ηλιακά στοιχεία σε εξέταση.

-Αν το ηλιακό σύστημα είναι ενσωματωμένο σε άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα για παράδειγμα), η υβριδική μονάδα δέχεται ένα Πράσινο Πιστοποιητικό για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σύμφωνα με το Πράσινο Πιστοποιητικό Μηχανισμού (σήμερα στο εύρος των 18-22 σεντ / kWh$_e$).

-Ο εθνικός στόχος που τέθηκε από το διάταγμα είναι μια συνολική περιοχή ανοίγματος των 2 εκατ. τετραγωνικών μέτρων.

-Όλες οι μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας, μαζι με τις υβριδικές εγκαταστάσεις, πρέπει να είναι εξοπλισμένες με ένα θερμικό σύστημα αποθήκευσης με χωρητικότητα όχι λιγότερο από 1,5 kWhth ανά τετραγωνικό μέτρο του διαφράγματος.

- Το ελάχιστο άνοιγμα συλλέκτη είναι 2500 m^2, ωστόσο, δεν υπάρχει ανώτατο όριο για το μέγεθος της εγκατάστασης.

Το 2000, η ιταλική κυβέρνηση διέθεσε 55 εκατ. € στην ENEA για την ανάπτυξη CSP .Το έργο, που ονομάζεται Αρχιμήδης, είναι το πρώτο ιταλικό εργοστάσιο ηλιακής ενέργειας PTC και θα ενσωματωθεί σε ένα υπάρχον 370-Mwe CC εργοστάσιο στο Priolo Gargallo (Σικελία), που έχει DNI 1725 kWh/m^2 έτος. Η ιταλική εταιρία ENEL, ενεπλάκη στο έργο το 2004.Η μονάδα αποτελείται από ένα-5 MWe ηλιακό πεδίο με λιωμένο αλάτι ως HTF, δύο δεξαμενές αποθήκευσης που λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες (290 και 550 °C), και μια γεννήτρια υπέρθερμου ατμού.

Ελλάδα

Το 2006, η Ελλάδα ψήφισε το νόμο 3468/2006, που περιέχει μια προσθετική ταρίφα(Fit) για ηλιακή θερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μεταφέρει την οδηγία οδηγία 2001/77/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιδιώκει την προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την συμπαραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος αυτός παραχωρεί 25 σεντ/ kWh_e για CSP μονάδες με λιγότερα από 5 MWe και 23 σεντ/ kWh_e για πάνω από 5Mwe.. Στις νησιά, το τέλος αυτό είναι 2 σεντ/kWh_e υψηλότερο .
Το Theseus είναι ένα 52-MWe εργοστάσιο CSP με PTC που είναι υπό ανάπτυξη στο νησί της Κρήτης.Η εταιρία Solar Millennium κατέχει το 75% του έργου και η Flabeg, Fitchner OADYK το υπόλοιπο 25%. Επίσης ιδρύθηκε μια τοπική εταιρεία , η THESEUS S.A για το έργο αυτό.

Γαλλία

Ένα νέο feed-in tariff για την ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια, δημοσιεύτηκε στις 26 Ιουλίου 2006, με χορήγηση 30 λεπτά του ευρώ ανά kWh (40 λεπτά του ευρώ ανά kWh στο υπερθαλάσσια), συν ένα επιπλέον 25 λεπτα/KWh, αν ενσωματωθούν σε κτίρια (συν 15 λεπτά του ευρώ ανά κιλοβατώρα υπερθαλάσσια). Η διατίμηση αυτή περιορίζεται στις ηλιακές μόνο εγκαταστάσεις με λιγότερα από 12 MW και με λιγότερες από 1.500 ώρες λειτουργίας για ένα χρόνο. Για την παραγωγή πάνω από αυτό το όριο η πολιτική είναι 5 λεπτά/kWh ενώ αναμένεται αναθεωρημένη πολιτική. Η κυβέρνηση προωθεί την ανάπτυξη «Ένα εργοστάσιο ηλιακής ενέργειας ανά περιοχή», μέσω της Συμφωνίας της για το Περιβάλλον, το 2007.

Τα τρέχοντα έργα υπό ανάπτυξη είναι ενας 2MW υβριδικός αεριοστρόβιλος με 50% ηλιακό δυναμικό, που χρησιμοποιεί νέους και ανακαινισμένους ηλιοστάτες και ένα μικρό PAGASE δέκτη καθώς και ένα 12 MW CSP έργο από την «Solar Euromed της SAS» η οποία χρησιμοποιεί παραβολικού κοίλο και έλαιο συν αποθήκες αλατιού.

Πορτογαλία.

Το 2007, η Πορτογαλλική Κυβέρνηση πέρασε το νομοθετικό διάταγμα 225.2007, το οποίο αναθεώρησε το feed-in tariff του διατάγματος 33 A/2005 σε 29,3 σεντ / kWh_e για Εργοστάσια CSP κάυω από 10MWe και 15-20 σεντ/kWhe για πάνω από 10Mwe.

Άλλες ευρωπαϊκές χώρες

Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, ιδίως οι νότιες προετοιμάζουν το έδαφος για την ανάπτυξη CSP, ως επί το πλείστον μέσω feed-in tariff νόμους που έχουν ήδη σε ισχύ ή είναι σε προετοιμασία. Τέτοια παραδείγματα είναι η Πορτογαλία και η Ελλάδα. Η Γερμανία έχει ένα feed-in tarif νόμο που θα επιτρέψει επίσης τα CSP, αλλά δεν έχει ηλιακούς πόρους που να ανταποκρίνονται. Ωστόσο, μετά από μακροχρόνια έρευνα και δραστηριότητα της βιομηχανίας σε αυτό τον τομέα, ένας 1,5 MW ηλιακός πύργος στο Jülich ξεκίνησε τη λειτουργία του στο τέλος του 2008. Αυτός βέβαια είναι κυρίως πειραματικός

ΗΠΑ

Πολύ περισσότερες διαδρομές προς την τεχνολογία CSP έχουν ενταθεί προσφάτως, με εστιασμένες κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα των ΗΠΑ, όπου υπάρχει ένα εξαιρετικό ηλιακό δυναμικό και ζήτηση για ενέργεια από αυξανόμενο πληθυσμό.

• Η πολιτία της Καλιφόρνιας με ένα Πρότυπο Ανανεώσιμης Ενέργειας απαιτεί επενδυτή οργανισμών κοινής ωφελείας, για να παράγει το 20% των λιανικών πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2017. Επίσης εξεάζονται και εκτος της πολιτείας προτάσεις αν διανέμουν το ρεύμα στην Καλιφόρνια.

• Το 2003, η Νεβάδα πέρασε ενα Πρότυπο ανανεώσιμης ενέργειας, το οποίο απαιτεί τους δύο επενδυτές -επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (Nevada Power, Sierra Pacific Power) να παράγουν τουλάχιστον το 15% των λιανικών πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2013.

• Το 2002, το Κογκρέσο των ΗΠΑ ζήτησε από το Υπουργείο Ενέργειας (DOE) την ανάπτυξη μιας πολιτικής πρωτοβουλίας για την επίτευξη του στόχου της ικανότητας 1.000 MW ενός νέου παραβολικού κοίλου,ενός πύργου ισχύος και

ενός δίσκου-μηχανής ώστε να προμηθεύει τις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι το 2006. Από τα τέλη του 2006, οι ηλεκτρικές εταιρείες κοινής ωφέλειας στα νοτιοδυτικά έχουν δρομολογήσει αρκετές αιτήσεις χιλιάδων MW ανανεώσιμης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των CSP.

• Η Western Governors' Association (WGA) έχει προσδιορίσει τις απαραίτητες αλλαγές στο κράτος και τις ομοσπονδιακές πολιτικές για την επίτευξη 30.000 MW νέας καθαρής, διαφοροποιημένης παραγωγής ενέργειας μέχρι το 2015 και την αύξηση 20% στον τομέα της αποδοτικότητας ενέργειας ως το 2020. Στο 2006 η έκθεση της WGA προσδιορίζει 4000 MW υψηλής ποιότητας CSP της Solar Task Force στην νοτιοδυτική Αμερική και συνιστά μια διαδικασία για την ανάπτυξη των κρατικών πολιτικών και την ανάπτυξη κινήτρων.

• Η Πολιτεία του Νέου Μεξικού είχε προωθήσει ένα Πρότυπο Ανανεώσιμης Ενέργειας από τον Ιούλιο του 2003, το οποίο απαιτούσε επενδυτή οργανισμών κοινής ωφελείας, για τη δημιουργία τουλάχιστον του 5% των λιανικών πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τους πελάτες στο Νέο Μεξικό ως το 2006, και τουλάχιστον 10% μέχρι το 2011.
• Το περιβαλλοντικό πρότυπο της Αριζόνας αυξηθηκε κατά 1,1% το 2007 (60% από ηλιακές πηγές): Οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται με ηλιακή ενέργεια από άλλες πολιτείες.Το κράτος παρέχει, επίσης, πολλαπλασιαστές πίστωσης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που παρέχουν πρόσθετα κίνητρα για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας εντός της πολιτείας.

Ασία

Κίνα

Για να προωθήσει την ανάπτυξη των CSP η Κίνα, η China Renewable Energy Scale-up Programme (CRESP) κυκλοφόρησε πρόσφατα μια έκθεση για τις πολιτικές οικονομικών κινήτρων παραγωγής ηλιακής ενέργειας. Η έκθεση προτείνει μέτρα, συμπεριλαμβανομένης της φορολογίας και των οικονομικών προτιμήσεων, έκπτωση δανείων και περιλαμβάνομένων πληροφορίών σχετικά με τις πολιτικές τιμών προτίμησης και διαχείρισης, την αύξηση της τεχνολογικής έρευνας και της ανάπτυξη επενδύσεων και την ενίσχυση της ερευνητικής (Research and Development (R&D)) ικανότητας, για τη θέσπιση τεχνικών προτύπων, την διαχείριση των κανονισμών και ένα σύστημα ελέγχου ταυτότητας.
Η NDRC έχει αναλάβει επίσης την έρευνα σχετικά με τις feed-in-tariff πολιτικές της ηλιακής θερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Είναι αναμενόμενο ότι η 4 Yuan/kWh πριμοδότηση θα πρέπει να εφαρμοστεί σε κάποιο σύστημα επιδειξης συστήματος ηλιακής ενέργειας τοποθετημένο στην έρημο σύντομα.
Το 5-ετές σχέδιο 2006-2010 της Επιτροπής 'Chinese National Development and Reform Commission' περιλαμβάνει 200 MW εμπορικών εργοστασίων CSP στα κράτη της Νέας Μογγολίας,στο Xin Jiang και το Θιβέτ, για τα οποία μια 25-ετούς ισχύος συμφωνία αγοράς προσφέρεται.
Ένα ηλιακό θερμικό εργο αναφέρεται ως βασικό έργο 863 από το National Hi-Tech R&D, το οποίο διαχειρίζεται από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών. Το έργο επικεντρώνεται στην τεχνολογία ανάπτυξης και επίδειξης ηλιακής ενέργειας πύργου ως μια συντομότερη διαδρομή για την τοπική παροχή από την τεχνολογία παραβολικών κοίλων. Υπάρχουν και άλλες έρευνας , συμπεριλαμβανομένης της 100kW παραβολικής γούρνας από το δήμο Nanjing το 2007 που διενεργείται από την Zhongcaitiancheng New Energy Company της Nanjing .
Η εταιρία CAMDA αναλαμβάνει την έρευνα για την επίδειξη ενός συστήματος 1MW παραβολικής γούρνας , το οποίο είναι έργο της επαρχίας Guangdong στα πλαίσια της εξοικονόμηση ενέργειας και της μείωση των εκπομπών των ΑΠΕ το 2008. Η Solar Millennium AG, μαζί με την Inner Mongolia Ruyi Industry Co., Ltd μελετούν ένα σύστημα παραβολικού κοίλου 50 MW στο Ordo της εσωτερικής Μογγολίας.

Αυστραλία

Η κυβέρνηση της Αυστραλίας ανακοίνωσε έναν στόχο 20% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2020, αλλά δεν έχει ψηφίσει ακόμα σχετικό νόμο. Επίσης, στο πλαίσιο της συζήτησης είναι ένας εθνικός στόχος για την μείωση εκπομπών και το σύστημα εμπορίας άνθρακα «cap and trade» το οποίο θα αποτελέσει πρόσθετο εισόδημα για τα ηλιακά θερμικά εργοστάσια, αν και λειτουργία του συστήματος δεν έχει ακόμα οριστικοποιηθεί.

Ένα νέο κεφάλαιο ύψους 50 εκατ. AUD είναι τώρα διαθέσιμο για το Αυστραλιανό Ηλιακό Ινστιτούτο ωστε να επεκταθεί η έρευνα της ηλιακής ικανότητας της Αυστραλίας και να αξιοποιήσει το υπάρχων κέντρο CSIRO σε διάστημα τεσσάρων ετών. Οι στόχοι του είναι να αναπτύξει την έρευνα των CSP καθως και η ανάπτυξη δυνατοτήτων, η δημιουργία εγκαταστάσεων, η ανάπτυξη διεθνούς συνεργασίας και η δημιουργία ενός μεγαλύτερου διδακτορικού προγράματος για τον σκοπό αυτό.

Τεχνικά, υπάρχουν τρεις κύριοι τομείς της παραγωγής ηλιακής θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αυστραλία. Η πιο εμπορικά προηγμένες από αυτές είναι τα συστήματα Fresnel (Compact Linear Fresnel Reflector CLFR) , τα οποία πλέον ενσωματώνουν ένα υπάρχον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την κάυση άνθρακα, που παράγει ατμό για να τροφοδοτήσει την κύριο θερμική γεννήτρια. Ένα πρώτο εργοστάσιο που ήταν 1MWe κατασκευάστηκε το 2003, το οποίο τώρα επεκτείνεται για να διπλασιάσει το μέγεθος.

Η εταιρεία Ausra έχει πλέον κατασκευάσει ένα αυτόνομο σχεδιασμό με τον δικό του στρόβιλο με μια εγκατάσταση 5MWe στην Καλιφόρνια και μια άλλη μονάδα 177 MWe που σύντομα θα ακολουθήσει. Η τεχνολογία παραβολικών κατόπτρων «μεγάλων πιάτων» έχει μια επιφάνεια 500m^2 για κάθε μονάδα, τρεις ή τέσσερις φορές μεγαλύτερο από τα άλλα παραδείγματα αυτής της τεχνολογίας.

Αυτή αναπτύχθηκε από το Εθνικό Πανεπιστήμιο της Αυστραλίας και εμπορευματοποιείται αυτή την στιγμή. Ένα πεδίο δοκιμής για ένα ηλιακό πύργο παραγωγής «ηλιακού αερίου» έχει κατασκευαστεί από την Commonwealth

Science and Industry Research Organisation (CSIRO) και αυτή τη στιγμή δοκιμάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει τους Ηλιακους Σταθμους ανα τον κοσμο (Υπάρχοντες ήδη,αναγγελθέντες καθώς και οι υπό κατασκευή) με ιδιαίτερη αναφορά στην Ισπανία και τις ΗΠΑ:

Operational Solar Thermal Power Stations

Capacity(MW)	name	Country	Location	Technology type	Notes
20	PS20 solar power tower	Spain	Seville	solar power tower	Completed April 2009
11	PS10 solar power tower	Spain	Seville	solar power tower	World's first commercial solar tower
5	Sierra SunTower	USA	Lancaster	solar power tower	North America's only operating solar tower, completed August 2009
1.5	Jülich Solar Tower	Germany	Jülich	solar power tower	Completed December 2008
19.9	Gemasolar	Spain	Fuentes de Andalucia (Seville)	solar power tower	Completed May 2011. With 15h heat storage
100	Manchasol Power Station	Spain	Alcázar de San Juan	parabolic trough	Manchasol-1 completed January 2011, with 7.5h heat storage Manchasol-2 completed April 2011, with 7.5h heat storage
5	Thai Solar Energy (TSE) 1	Thailand	Huaykrachao	parabolic trough	Completed November 2011
0.25	Shiraz solar power plant	Iran	Shiraz	parabolic trough	Iran's first solar power plant
50	Solacor 1	Spain	El Carpio	parabolic trough	Completed February 2012
100	Palma del Rio Solar Power Station	Spain	Palma del Río	parabolic trough	Palma del Rio 2 completed December 2010
64	Nevada Solar One	USA	Boulder City, Nevada	parabolic trough	Operational since 2007
1	Saguaro Solar Power Station	USA	Red Rock	parabolic trough	
17	Yazd integrated solar combined cycle power station	Iran	Yazd	parabolic trough	World's first solar combined cycle power plant
100	Valle Solar Power Station	Spain	San José del Valle	parabolic trough	Completed December 2011, with 7.5h heat storage
50	Lebrija-1	Spain	Lebrija	parabolic trough	Completed July 2011
50	La Florida	Spain	Alvarado (Badajoz)	parabolic trough	Completed July 2010
50	Ibersol Ciudad Real	Spain	Puertollano, Ciudad Real	parabolic trough	Completed May 2009
50	Helioenergy 1	Spain	Ecija	parabolic trough	Completed September 2011

2	Keahole Solar Power	USA	Hawaii	parabolic trough	
50	La Dehesa	Spain	La Garrovilla (Badajoz)	parabolic trough	Completed November 2010
50	Majadas de Tiétar	Spain	Caceres	parabolic trough	Completed August 2010
150	Solnova Solar Power Station	Spain	Sanlúcar la Mayor	parabolic trough	Solnova 1 completed May 2010 Solnova 3 completed May 2010 Solnova 4 completed August 2010
354	Solar Energy Generating Systems	USA	Mojave Desert, California	parabolic trough	Collection of 9 units
50	Alvarado I	Spain	Badajoz	parabolic trough	Completed July 2009
150	Andasol solar power station	Spain	Guadix	parabolic trough	Andasol 1 completed, 2008, with 7.5h thermal energy storage Andasol 2 completed, 2009, with 7.5h thermal energy storage Andasol 3 completed, 2011, with 7.5h thermal energy storage
5	Archimede solar power plant	Italy	Syracuse, Sicily	parabolic trough	ISCC with heat storage Completed July 2010
100	Extresol Solar Power Station	Spain	Torre de Miguel Sesmero	parabolic trough	Extresol 1 completed February 2010 Extresol 2 completed December 2010
75	Martin Next Generation Solar Energy Center	USA	Indiantown, Florida	ISCC	steam input into a combined cycle
20	Kuraymat Plant	Egypt	Kuraymat	ISCC	Completed December 2010
25	Hassi R'mel integrated solar combined cycle power station	Algeria	Hassi R'mel	ISCC	Completed June 2011
20	Beni Mathar Plant	Morocco	Ain Bni Mathar	ISCC	
5	Kimberlina Solar Thermal Energy Plant	USA	Bakersfield, California	fresnel reflector	AREVA Solar, formerly Ausra demonstration plant
2	Liddell Power Station Solar Steam Generator	Australia	New South Wales	fresnel reflector	electrical equivalent steam boost for coal station
31.4	Puerto Errado 1+2	Spain	Murcia	fresnel reflector	Puerto Errado 1 completed April 2009 Puerto Errado 2 completed February 2012
1.5	Maricopa Solar	USA	Peoria, Arizona	dish stirling	SES / Tessera Solar's first commercial-scale Dish Stirling power plant. Completed January 2010
1702.65	Overall operational capacity				

Solar Thermal Power Stations under construction

Capacity(MW)	name	Country	Location	coordinates	Expected completion	Type
70	Ivanpah Solar Power Facility	USA	San Bernardino County, California	35°34′N 115°28′W	2013	solar power tower
280	Solana Generating Station	USA	West of Gila Bend, AZ	32°55′N 112°58′W	2013	parabolic trough
250	Mojave Solar Park	USA	San Bernardino County, California		2014	parabolic trough
250	Ashalim power station	Israel	Negev desert		2013	parabolic trough
110	Crescent Dunes Solar Energy Project	USA	Nye County, Nevada	38°14′N 117°22′W	2013/14	power tower
100	Solaben 2, 3	Spain	Logrosan		2012	parabolic trough
100	Helios 1+2	Spain	Ciudad Real		2012	parabolic trough
100	Shams	UAE	Abu Dhabi Madinat Zayad		2012	parabolic trough
100	Termosol 1+2	Spain	Navalvillar de Pela (Badajoz)		2013	parabolic trough
50	Helioenergy 2	Spain	Ecija		2012	parabolic trough
50	Extremasol 1	Spain	Extremadura		2013	parabolic trough
50	Extresol 3	Spain	Torre de Miguel Sesmero (Badajoz)	38°39′N 6°44′W	2012	parabolic trough
50	Astexol 2	Spain	Badajoz		2011	parabolic trough
50	Arenales PS	Spain	Moron de la Frontera (Seville)		2013	parabolic trough
50	Cargo Solar Power (Guj) P. Ltd.	india	KUTCH (Gujarat)	23°22.233′N 70°41.988′E	2013	parabolic trough
50	Shriram EPC	india	BAAP (Rajasthan)		2013	parabolic trough
50	El Reboso 2	Spain	El Puebla del Rio (Seville)		2012	parabolic trough
50	Morón	Spain	Moron de la Frontera (Sevilla)		2012	parabolic trough
50	Olivenza 1	Spain	Olivenza (Badajoz)		2012	parabolic trough
50	La Africana	Spain	Posada		2012	parabolic trough
50	Guzman	Spain	Palma del Río		2012	parabolic trough
50	Orellana	Spain	Orellana		2012	parabolic trough
50	Casablanca	Spain	Cáceres		2013	parabolic trough
50	Enerstar Villena Power Plant	Spain	Villena		2013	parabolic trough
50	Aste 1A	Spain	Alcázar de San Juan		2012	parabolic trough
50	Aste 1B	Spain	Alcázar de San Juan		2012	parabolic trough
50	Solacor 2	Spain	El Carpio		2012	parabolic trough

27.5	Jinshawan	China	China			solar updraft tower
25	Termosolar Borges	Spain	Borges Blanques (Lleida)		2012	parabolic trough
12	Alba Nova 1	France	Corsica		2013	Fresnel
1.4	THEMIS Solar Power Tower	France	Pyrénées-Orientales	42°30′5″N 1°58′27″E		solar power tower
1	Renovalia	Spain	Albacete			dish
2106.9	Overall capacity under construction					

Solar Thermal Power Stations Announced in the USA

Capacity(MW)	name	Country	Location	coordinates	Technology type	Notes
750	Rio Mesa Solar Project	USA	Riverside County, California			
500	Fort Irwin	USA	San Bernardino County, California	35°14′47″N 116°40′55″W	unnamed solar thermal technology, military	
484	Palen Solar Power Project	USA	Riverside County, California		solar trough	
340	Hualapai Valley Solar Project	USA	Mohave County, Arizona		parabolic trough	Solar Millennium, Chevron
300	Unnamed	USA	Florida		fresnel reflector	
250	Beacon Solar Energy Project	USA	Kern County,California		parabolic trough	
250	Harper Lake Solar	USA	San Bernardino County, California		solar trough	
250	Genesis Solar Energy Project	USA	Riverside County, California		solar trough	
200	Unnamed Kingman solar project	USA	Mohave County, Arizona		parabolic trough	
200	Enviromission Australia	USA	Arizona		solar updraft tower	
200	BrightSource PPA5	USA	Mojave, California		power tower	
200	BrightSource PPA6	USA	Mojave, California		power tower	
200	BrightSource PPA7	USA	Mojave, California		power tower	

150	Rice Solar Energy Project	USA	Riverside County, California		power tower	with 7h heat storage
150	Crossroads Solar Energy Project	USA	Maricopa County, Arizona		power tower	with 10h heat storage
107	San Joaquin Solar 1&2	USA	Fresno County, California		parabolic trough hybrid with biomass	
100	Calico Solar Energy Project (SES Solar One)	USA	San Bernardino County, California		??	
92	Suntower	USA	Doña Ana County, New Mexico		solar tower	
84	eSolar 1	USA	Los Angeles County, California		solar tower	
66	eSolar 2	USA	Los Angeles County, California		solar tower	
62	City of Palmdale Hybrid Power Project	USA	Palmdale, California		parabolic trough steam input for hybrid gas plant	
59	Unnamed	USA	Barstow, California		parabolic trough with heat storage	
50	Victorville 2 Hybrid Power Project	USA	Victorville, California		parabolic trough steam input for hybrid gas plant	
50	Sound Hybrid G	USA	Unannounced		hybrid	
5	Kalaeloa Solar One MicroCSP Power Project	USA	Barbers Point Naval Air Station, Hawaii		MicroCSP parabolic trough steam input for power generation with thermal storage	
6510	Overall capacity announced in the USA					

Solar Thermal Power Stations Announced in Spain

Capacity(MW)	name	Location	Technology type
200	Andasol 4–7	Granada	parabolic trough with heat storage
100	Solnova 2, 4–5	Sevilla	parabolic trough with heat storage
50	Ibersol Badajoz	Fuente de Cantos	parabolic trough
50	Ibersol Valdecaballeros 1–2	Valdecaballeros	parabolic trough
50	Ibersol Sevilla	Aznalcollar	parabolic trough
50	Ibersol Almería	Tabernas	parabolic trough

50	Ibersol Albacete	Almansa	parabolic trough
50	Ibersol Murcia	Lorca	parabolic trough
50	Ibersol Zamora	Cubillos	parabolic trough
100	Aste 3, 4	Alcázar de San Juan	parabolic trough
50	Astexol 1	Extremadura	parabolic trough
50	AZ 20	Sevilla	power tower
50	Alcázar Solar Thermal Power Project	Alcázar de San Juan	power tower
20	Almaden Plant	Albacete	power tower
10	Gotasol	Gotarrendura	linear fresnel
0.08	Aznalcollar TH	Sevilla	dish sterling
1080.08	Overall capacity announced in Spain		

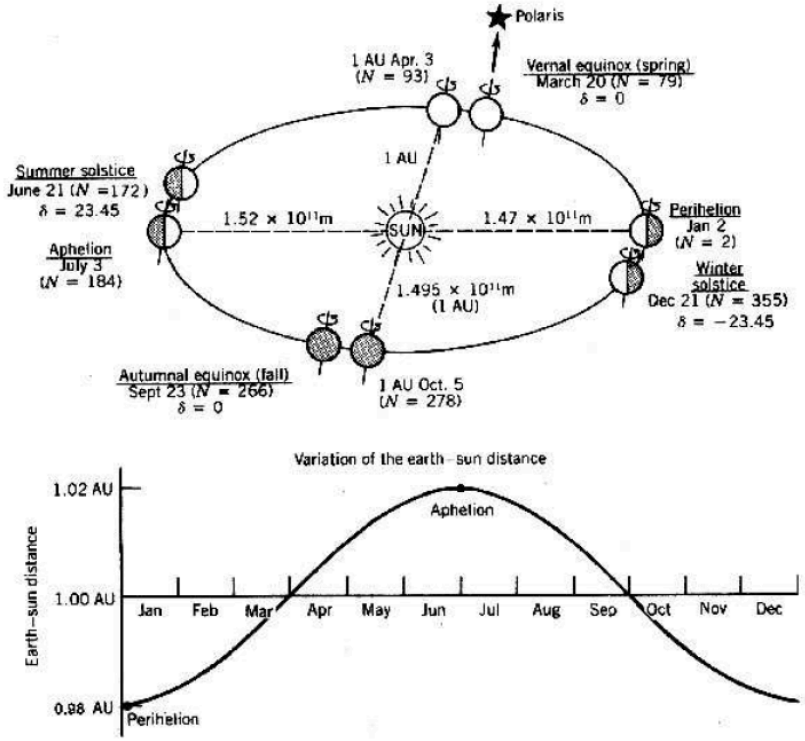
Solar Thermal Power Stations Announced In Other Countries

Capacity(MW)	name	Location	Technology type
2000	Sudan Solar Program	Sudan	unknown
2000	unknown	Mongolian desert, China	power tower
2000	unknown	Morocco	unknown
250	Solar Gas Power Station	Brisbane, Queensland, Australia	Parabolic trough Gas
72	Mashhad solar-thermal power station	Mashhad, Iran	Parabolic dish with tracer system
60	Mashavei Sadde solar-thermal power station	Mashavei Sadde(Negev), Israel	CSP
14	Agua Prieta II integrated solar combined cycle power station	Agua Prieta(Sonora), Mexico	ISCC
6656	Overall capacity announced in other countries		

7.Ηλιακή Γεωμετρία

Εισαγωγη

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο σε μια ελλειπτική τροχιά με περίοδο 365,25 ημέρες, με μια μέση απόσταση Γης-Ήλιου 1,496 μ x 10^{11}m.Το επίπεδο αυτής της τροχιάς ονομάζεται εκλειπτικό επίπεδο. Η τροχιά της Γης φτάνει στη μέγιστη απόσταση από τον ήλιο, ή αφήλιο,κατα 1,52 × 10^{11} m την τρίτη ημέρα του Ιουλίου. Η αντίστοιχη ελάχιστη απόσταση, το περιήλιο, εμφανίζεται στις 2 Ιανουαρίου, όταν η Γη είναι 1,47 × 10^{11} m από τον ήλιο. Το Σχήμα 71 απεικονίζει τις διακυμάνσεις σε σχέση με τις εποχές του Βόρειου Ημισφαιρίου.
Η γη περιστρέφεται γύρω από τον δικό της πολικό άξονα, με κλίση προς το επίπεδο της εκλειπτικής τροχιάς 23,45°, σε 24-ωρους κύκλους.
Η περιστροφή της Γης γύρω από τον πολικό άξονά της παράγει τις μέρες και τις νύχτες μας.Η κλίση του άξονα αυτού σε σχέση με το εκλειπτικό επίπεδο παράγει τις εποχές μας, καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο.



Σχήμα 71 :Το εκλειπτικό επίπεδο που δείχνει μεταβολές στην απόσταση Γης-ήλιου ,τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια. Οι ημερομηνίες που εμφανίζονται είναι για το 1981 και μπορεί να διαφέρουν από 1 ή 2 ημέρες.

Χρόνος

Μετράμε το πέρασμα του χρόνου με τη μέτρηση της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονα της . Η βάση για το χρόνο μέτρησης είναι ο μεσημβρινός που περνά μέσα από το Γκρήνουιτς της Αγγλίας και τους δύο πόλους. Είναι γνωστός

ως ο πρώτος μεσημβρινός. Σήμερα, η κύρια κλίμακα ώρας, η Παγκόσμια Ώρα (που ονομαζόταν παλαιότερα ώρα Γκρίνουιτς), εξακολουθεί να μετράται ως προς τον Πρώτο Μεσημβρινό.Αυτό είναι ένα 24-ωρο σύστημα, με βάση τον Μέσο Χρόνο , σύμφωνα με τον οποίο η διάρκεια της ημέρας είναι 24 ώρες και τα μεσάνυχτα η ώρα είναι 0.

Ο μέσος χρόνος είναι με βάση το μήκος της μιας μέσης ημέρας.Ενα Μέσο δευτερόλεπτο είναι to l/86.400 από το μέσο χρόνο μεταξύ μιας πλήρης μετακίνησης του ηλίου που κατα μέσο όρο δειαρκεί 1 έτος .Στην πραγματικότητα, το μήκος μιας οποιασδήποτε μέρας, μετρούμενη κατά την πλήρη διέλευση του ήλιου, μπορεί να ποικίλει μέχρι και 30 δευτερόλεπτα ανα χρόνο . Η μεταβλητή διάρκεια της ημέρας οφείλεται σε τέσσερις παράγοντες που παρατίθενται κατά φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας:

- Η τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο δεν είναι ένας τέλειος κύκλος, αλλά ελλειπτική, έτσι ώστε η γη κινείται πιο γρήγορα όταν είναι πιο κοντά στον ήλιο από ό, τι όταν είναι πιο μακριά.

-Ο Άξονας της Γης έχει κλίση προς το επίπεδο που περιέχει την τροχιά του γύρω από τον ήλιο.

-Η γη περιστρέφεται σε ένα ακανόνιστο ρυθμό γύρω από τον άξονα περιστροφής της.

-Η γη ταλαντώνεται γύρω από τον άξονά της.

Πρότυπες ζώνες ώρας

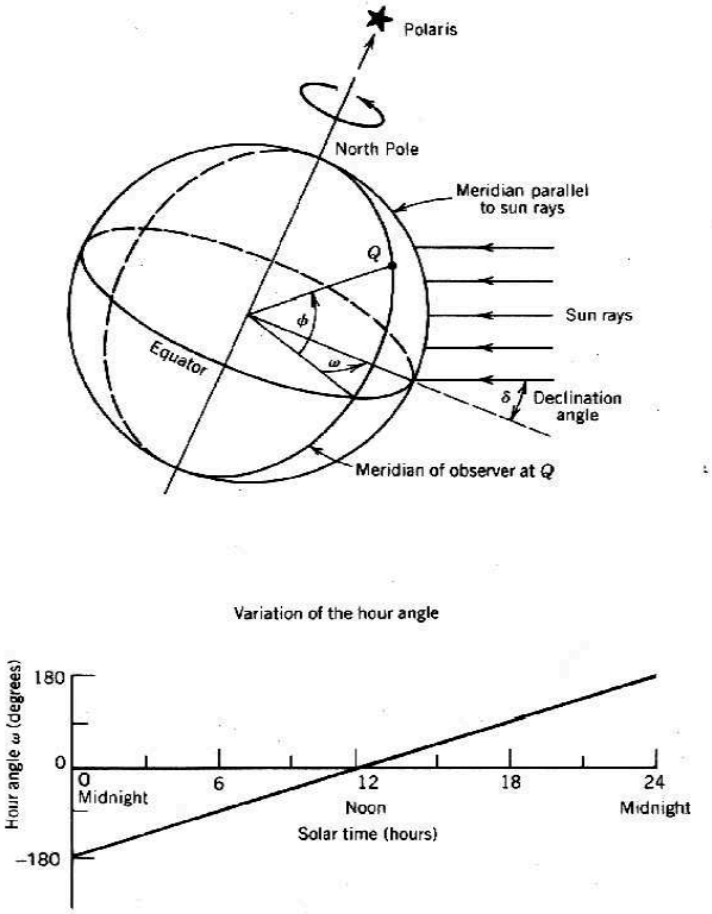
Δεδομένου ότι είναι συμβατικό να είναι 12:00 το μεσημέρι περίπου στη μέση της ημέρας, ανεξάρτητα από το γεωγραφικό μήκος, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ζωνών ώρας. Πρόκειται για γεωγραφικές περιοχές, περίπου 15 μοίρες του γεωγραφικού μήκους η κάθε μια.

Ο χρόνος τώρα γενικά μετριέται σε σχέση με βασικές ζώνες ώρας ,τους μεσημβρινούς. Αυτοί βρίσκονται ανά 15 μοίρες από τον Κύριο Μεσημβρηνό έτσι ώστε οι τοπικές αλλαγές του χρόνου να είναι κατά μια ωρα προσαυξήμένες από την μια ζώνη ώρας μεσημβρινού στην επόμενη. Οι τυπικές ζώνες ώρας μεσημβρινών ανατολικά του Greenwich έχουν αρνητική φορά και οι δυτικοί μεσημβρινοί θετική .

Η ωριαία ηλιακή γωνία

Για την περιγραφή της περιστροφής της γης γύρω από τον πολικό άξονά της, χρησιμοποιούμε την έννοια της ωριαίας γωνίας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 72, η ωριαία γωνία είναι η γωνιακή απόσταση μεταξύ του μεσημβρινού του παρατηρητή και του μεσημβρινού του επιππέδου που περιέχει τον ήλιο. Η ωριαία γωνία είναι μηδέν κατά την Ηλιακή Μεσημβρία (όταν ο ήλιος φτάνει στο υψηλότερο σημείο του στον ουρανό).

Η ηλιακή γωνία αυξάνεται κατά 15 μοίρες κάθε ώρα.



Σχήμα 72: Η ώρα γωνία. Η γωνία αυτή ορίζεται ως η γωνία μεταξύ του μεσημβρινού παράλληλα με ακτίνες του ήλιου και του μεσημβρινού που περιέχει τον παρατηρητή.

Η ηλιακή ωριαία γωνία δίνεται από την σχέση:

$$\omega=15°/h(T_{SOLAR}-12h)$$

όπου:

T_{SOLAR}:Η ηλιακή ώρα στον τόπο

ω:η ωριαία γωνία του ηλίου

12:Η ώρα κατά την ηλιακή μεσημβρία(ζενιθ)

15°/h:Η σταθερά αναλογίας ηλιακής ώρας-ώρας

Ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα βασίζεται σε 24-ωρο ρολόι , με 12:00 τη στιγμή της ηλιακής μεσημβρίας . Η έννοια των ηλιακών ωρών χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κατεύθυνσης των ακτίνων του ήλιου σε σχέση με ένα σημείο στη γη. Η ηλιακή ώρα εξαρτάται από την θέση (γεωγραφικό μήκος) και είναι γενικά

διαφορετική από την τοπική ώρα του ρολογιού, η οποία ορίζεται από πολιτικά οριζόμενες χρονικές ζώνες και άλλες προσεγγίσεις.

Η ηλιακή ώρα επιδέχεται κυρίως δυο διορθώσεις σε σχέση με την πολιτική ώρα 1.Σε σχέση με την διαφορά της θέσης του παρατηρητη L_{loc} (L_{loc}=-23,73° για το Πολλυτεχνείο)και του μεσημβρινού αναφορας L_{ST} (=-30° για τη Ελλάδα).

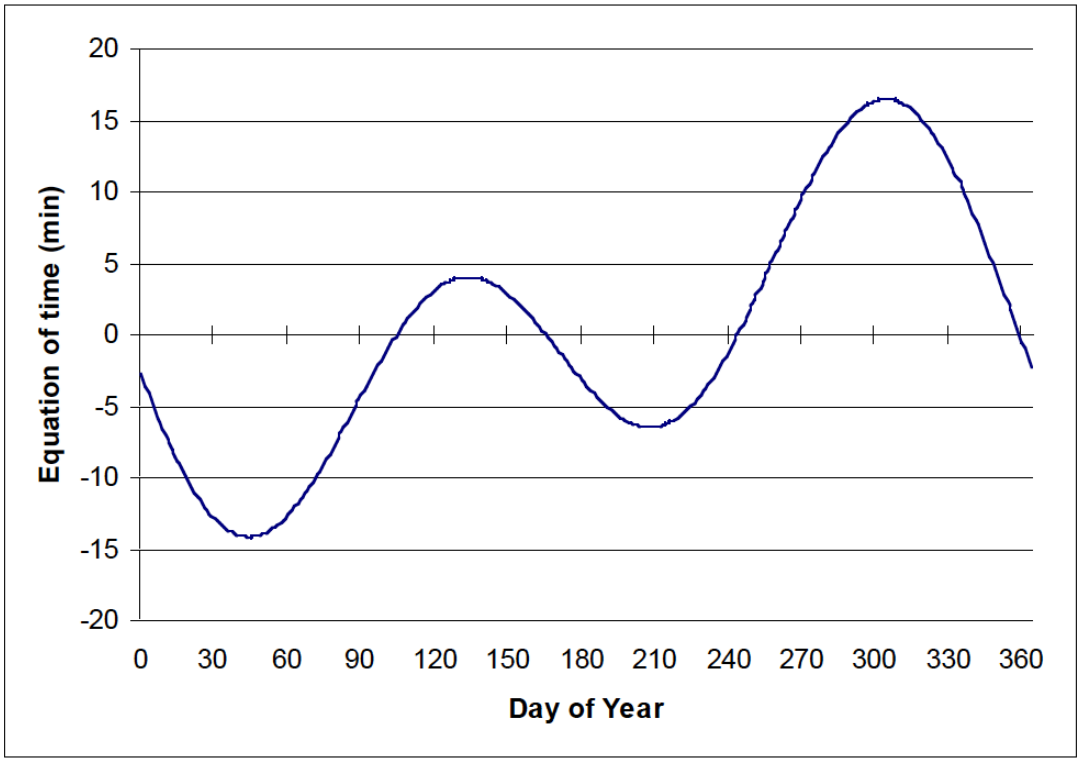
2.Η δεύτερη διόρθωση σχετίζεται με την λεγόμενη «Εξίσωση χρόνου» Ε η οποία λαμβάνει υπόψιν τον χρόνο(min)που απαιτεί ο Ηλιος για να μεταφερθεί κατα μήκος της Ηλιακής του τροχιάς και να διανύσει τον παρατηρητή και δίνεται εμπειρικά από την σχέση:

$$E=9{,}87\cdot\sin(2B)-7{,}53\cdot\cos(B)-1{,}5\cdot\sin(B)$$

Όπου Β η γωνία ημέρας που σχετίζεται με την μέρα του χρόνου και δίνεται από την σχέση:

$$B=\frac{360^\circ}{364}(DoY-81)$$

Όπου DoY είναι η ημέρα του χρόνου και παίρνει τιμές από 1 ως 365.Η γραφική παράσταση της Ε φαίνεται στο Σχήμα 73:



Σχήμα 73: Η εξίσωση του χρόνου σε σχέση με τις μέρες του έτους

Δεδομένου των εννοιών που ορίστηκαν η Ηλιακή ώρα σε μια περιοχή δίνεται από την σχέση:

$$T_{SOLAR}=T_{LOCAL}+E+4\frac{min}{^\circ}(L_{ST}-L_{LOCAL})$$

οπου:

T_{SOLAR}:Η ηλιακή ώρα σε ενα δεδομένο τόπο

T_{LOCAL}:Η τοπική ώρα στον τόπο αυτόν

L_{ST}:Ο μεσημβρινός αναφοράς (-30° για Ελλάδα)

L_{LOCAL}:Ο μεσημβρινός του πατρατηρητή

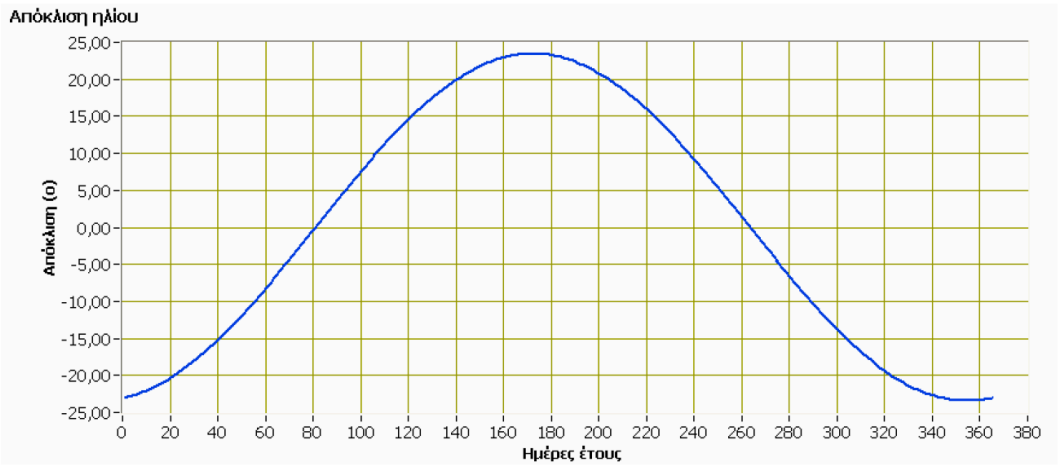
Η γωνία ηλιακης απόκλισης

Το επίπεδο που περιλαμβάνει τον γήινο ισημερινό ονομάζεται ισημερινό επίπεδο. Αν μια γραμμή συνδέει το κέντρο της γης και την ήλιο, η γωνία μεταξύ της γραμμής αυτής και του επίπεδου του ισημερινού επιπέδου ονομάζεται γωνία απόκλισης(δ).

Η ηλιακή απόκλιση λαμβάνει τιμές δ=+23,45° κατα το θερινό ηλιοστάσιο (21/6),δ=-23,45° κατα το χειμερινο ηλιοστάσιο(21/12) και δ=0° κατά την εαρινη(21/3) και φθινοπωρινή ισημερία(21/9).Η γωνία δ μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια της εξίσωσης:

$$\delta(°)=23{,}45°\sin[\frac{360°}{365}\ (DoY + 284)]$$

με DoY να παίρνει τιμές από 1 ως 365.



Σχήμα:Απόκλιση ηλίου κατά την διάρκεια του έτους

Η θέση του Ηλίου (ύψος και αζιμούθιο)

Η θέση του ηλίου προσδιορίζεται με δύο γωνίες:

1.το ύψος (β)

2.Το αζιμούθιο(Ζ)

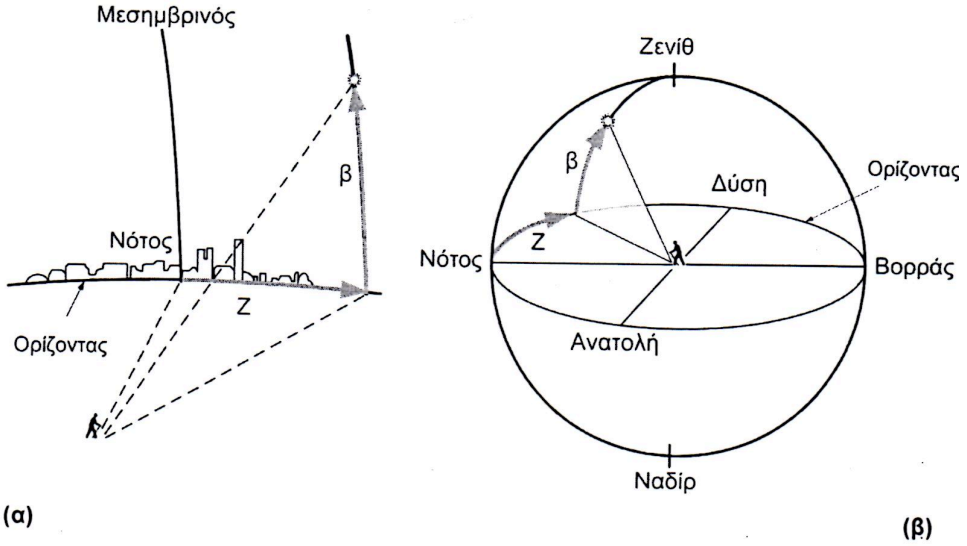
-Ύψος του Ηλίου ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του ηλίου και του οριζοντίου επιπέδου (σχήμα 74).

-Αζιμούθιο(Z)ονομάζεται η γωνία πάνω στο οριζόντιο επιπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατευθυνσης του Ηλίου και τον Νότο:

-Για τον νότο Z=0

-Για γωνίες δυτικά του νότου Z>0

-Για γωνίες ανατολικά του νότου Z<0



Σχήμα 74:Ύψος β και αζιμούθιο Z

Το ύψος β του Ηλίου είναι:

$$\sin\beta=\sin\delta\cdot\sin\varphi+\cos\delta\cdot\cos\varphi\cdot\cos\omega=\cos\varphi_Z$$

όπου

β:το ύψος του ηλίου

δ:η ηλιακή απόκλιση της ημέρας

φ:το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

ω:η ωριαία ηλιακή γωνία την στιγμή της μέτρησης

φ:η συμπληρωματική της Z

Η ηλιακή αζιμούθεια γωνία μπορει να υπολογιστεί ως εξής:

$$\cos Z = \frac{\sin\beta \cdot \sin\varphi - \sin\delta}{\cos\beta \cdot \cos\varphi}$$

όπου:

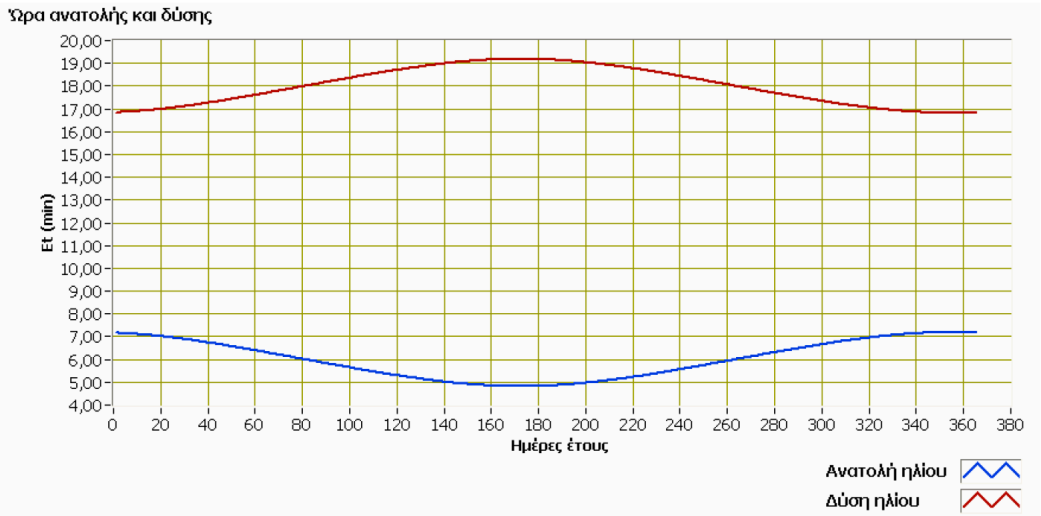
Z: το αζιμούθειο

β: το ύψος του Ηλίου την στιγμή της μέτρησης

δ :Η ηλιακή απόκλιση της μέρας μέτρησης

φ :το γεωγραφικό πλάτος της περιοχης μέτρησης

Η τιμη του β κατάτην ώρα της ανατολής και της δύσης μιας μέρας ειναι 0 ενώ το αζιμούθιο παίρνει την μέγιστη αρνητική τιμή στην ανατολή και την μέγιστη θετική κατά την δύση του ηλίου:



Σχήμα:Ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης του Ηλίου κατά την διαρκεια του έτους

Ενδεικτικά για την 1η Ιανουαρίου του 2012 οι τιμες της ώρας,ηλιακής ώρας, της γωνίας ημέρας Β,της εξίσωσης χρόνου Ε,της απόκλισης δ,του ύψους β και του αζιμούθιου Ζ δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ωρα	ηλιακη ωρα	γωνία ημέρας Β	Εξίσωση χρόνου Ε	ηλιακή απόκλιση δ	sinβ	ύψος β	ωριαία ηλιακή γωνία ω	cosZ	αζιμούθιο Ζ
7:50	7:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.012231869	0.701207408	-1.214884633	0.505529123	-59.66376396
7:55	7:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.027012283	1.548663171	-1.19305945	0.51721976	-58.88390905
8:00	7:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.041665244	2.389145102	-1.171234268	0.528930553	-58.09622726
8:05	7:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.056183775	3.222422787	-1.149409085	0.540660507	-57.30043512
8:10	7:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.070560958	4.048259714	-1.127583903	0.552408302	-56.49625123
8:15	7:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.084789946	4.866413128	-1.10575872	0.564172279	-55.68339649
8:20	7:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.098863961	5.676633903	-1.083933538	0.575950422	-54.86159448
8:25	7:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.1127763	6.478666424	-1.062108355	0.587740342	-54.03057173
8:30	8:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.126520336	7.272248476	-1.040283173	0.599539263	-53.19005819
8:35	8:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.140089522	8.057111153	-1.01845799	0.611343998	-52.33978768
8:40	8:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.153477395	8.832978781	-0.996632808	0.623150937	-51.47949843
8:45	8:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.166677578	9.599568859	-0.974807625	0.634956024	-50.60893364
8:50	8:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.179683784	10.35659202	-0.952982443	0.64675474	-49.72784219
8:55	8:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.192489817	11.103752	-0.93115726	0.658542085	-48.8359793
9:00	8:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.205089578	11.84074567	-0.909332078	0.670312557	-47.93310734
9:05	8:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.217477065	12.56726304	-0.887506895	0.682060137	-47.0189967
9:10	8:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.229646378	13.28298735	-0.865681713	0.693778268	-46.09342665
9:15	8:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.24159172	13.98759515	-0.84385653	0.705459841	-45.15618638
9:20	8:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.253307402	14.6807564	-0.822031348	0.717097177	-44.20707602
9:25	8:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.264787843	15.36213471	-0.800206165	0.728682013	-43.24590779
9:30	9:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.276027574	16.03138746	-0.778380983	0.740205491	-42.27250714
9:35	9:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.287021243	16.68816613	-0.7565558	0.751658147	-41.28671401
9:40	9:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.297763612	17.33211652	-0.734730618	0.763029901	-40.28838415
9:45	9:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.308249565	17.96287917	-0.712905435	0.774310054	-39.27739046
9:50	9:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.318474107	18.58008971	-0.691080253	0.785487284	-38.25362439
9:55	9:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.328432367	19.18337932	-0.66925507	0.796549651	-37.21699741
10:00	9:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.338119604	19.77237527	-0.647429887	0.807484599	-36.16744243
10:05	9:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.347531202	20.34670143	-0.625604705	0.81827897	-35.10491537
10:10	9:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.356662678	20.90597896	-0.603779522	0.82891902	-34.0293966
10:15	9:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.365509683	21.44982697	-0.58195434	0.839390437	-32.94089251
10:20	9:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.374068003	21.97786329	-0.560129157	0.849678369	-31.83943695
10:25	9:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.382333562	22.48970526	-0.538303975	0.859767462	-30.72509273
10:30	10:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.390302422	22.98497066	-0.516478792	0.869641894	-29.59795301

10:35	10:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.397970787	23.46327861	-0.49465361	0.879285425	-28.45814265
10:40	10:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.405335006	23.92425061	-0.472828427	0.888681451	-27.30581946
10:45	10:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.41239157	24.36751158	-0.451003245	0.897813066	-26.14117534
10:50	10:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.419137118	24.79269098	-0.429178062	0.90666313	-24.96443735
10:55	10:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.425568438	25.199424	-0.40735288	0.915214342	-23.7758685
11:00	10:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.431682465	25.58735275	-0.385527697	0.923449328	-22.57576852
11:05	10:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.437476287	25.95612753	-0.363702515	0.931350724	-21.3644743
11:10	10:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.442947146	26.3054081	-0.341877332	0.938901275	-20.14236023
11:15	10:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.448092434	26.63486498	-0.32005215	0.946083936	-18.90983821
11:20	10:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.452909702	26.94418079	-0.298226967	0.952881971	-17.66735748
11:25	10:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.457396654	27.23305153	-0.276401785	0.959279068	-16.41540411
11:30	11:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.461551154	27.50118794	-0.254576602	0.965259445	-15.15450032
11:35	11:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.465371222	27.74831676	-0.23275142	0.970807964	-13.88520337
11:40	11:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.468855039	27.974182	-0.210926237	0.975910241	-12.60810427
11:45	11:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.472000946	28.17854615	-0.189101055	0.980552759	-11.32382613
11:50	11:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.474807443	28.36119133	-0.167275872	0.98472297	-10.03302228
11:55	11:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.477273195	28.52192041	-0.14545069	0.988409398	-8.73637398
12:00	11:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.479397027	28.66055797	-0.123625507	0.991601741	-7.434588019
12:05	11:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.481177927	28.77695124	-0.101800325	0.994290948	-6.128393928
12:10	11:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.482615046	28.8709709	-0.079975142	0.996469309	-4.818541024
12:15	11:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.483707701	28.94251178	-0.058149959	0.998130515	-3.505795227
12:20	11:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.484455371	28.99149343	-0.036324777	0.999269718	-2.190935703
12:25	11:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.4848577	29.01786054	-0.014499594	0.999883575	-0.874751358
12:30	12:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.484914496	29.02158327	0.007325588	0.99997028	-0.441962764
12:35	12:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.484625732	29.00265739	0.029150771	0.999529575	1.75840916
12:40	12:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.483991545	28.96110435	0.050975953	0.998562761	3.07379157
12:45	12:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.483012239	28.89697111	0.072801136	0.997072677	4.387318669
12:50	12:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.481688278	28.81032988	0.094626318	0.995063681	5.698207696
12:55	12:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.480020294	28.70127779	0.116451501	0.992541607	7.005688
13:00	12:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.478009082	28.56993628	0.138276683	0.989513712	8.309004445
13:05	12:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.475655598	28.41645049	0.160101866	0.985988614	9.607420657
13:10	12:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.472960965	28.24098849	0.181927048	0.981976213	10.90022206
13:15	12:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.469926466	28.04374039	0.203752231	0.97748761	12.18671871
13:20	12:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.466553546	27.82491736	0.225577413	0.972535011	13.46624785
13:25	12:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.462843812	27.58475058	0.247402596	0.967131626	14.73817621
13:30	13:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.45879903	27.3234901	0.269227778	0.961291566	16.00190202
13:35	13:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.454421128	27.04140364	0.291052961	0.955029735	17.25685677
13:40	13:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.449712191	26.73877534	0.312878143	0.948361713	18.5025066
13:45	13:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.444674461	26.41590451	0.334703326	0.941303653	19.73835346
13:50	13:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.439310339	26.07310426	0.356528508	0.93387216	20.96393593
13:55	13:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.433622378	25.71070025	0.378353691	0.926084192	22.1788298
14:00	13:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.427613289	25.32902932	0.400178873	0.917956946	23.38264836
14:05	13:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.421285934	24.92843821	0.422004056	0.909507761	24.57504241
14:10	13:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.414643327	24.50928226	0.443829238	0.900754016	25.75570004
14:15	13:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.407688631	24.07192414	0.465654421	0.891713047	26.92434624

14:20	13:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.40042516	23.61673263	0.487479603	0.882402056	28.08074223
14:25	13:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.392856372	23.14408144	0.509304786	0.872838032	29.22468466
14:30	14:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.384985874	22.65434808	0.531129968	0.863037688	30.35600462
14:35	14:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.376817414	22.14791276	0.552955151	0.853017388	31.47456656
14:40	14:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.368354882	21.62515736	0.574780334	0.842793097	32.58026704
14:45	14:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.35960231	21.08646449	0.596605516	0.832380328	33.67303344
14:50	14:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.350563867	20.53221659	0.618430699	0.821794102	34.75282254
14:55	14:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.341243858	19.96279505	0.640255881	0.811048912	35.8196191
15:00	14:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.331646722	19.37857947	0.662081064	0.800158691	36.87343434
15:05	14:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.321777031	18.77994693	0.683906246	0.789136793	37.91430449
15:10	14:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.311639486	18.16727134	0.705731429	0.777995971	38.94228923
15:15	14:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.301238914	17.54092289	0.727556611	0.76674837	39.95747021
15:20	14:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.290580271	16.90126744	0.749381794	0.755405515	40.95994956
15:25	14:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.279668634	16.24866613	0.771206976	0.743978309	41.94984845
15:30	15:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.268509199	15.58347491	0.793032159	0.732477036	42.92730564
15:35	15:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.257107282	14.90604422	0.814857341	0.720911362	43.89247613
15:40	15:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.245468315	14.21671863	0.836682524	0.709290342	44.84552985
15:45	15:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.23359784	13.51583662	0.858507706	0.697622435	45.78665037
15:50	15:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.221501513	12.80373034	0.880332889	0.685915509	46.71603371
15:55	15:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.209185094	12.0807254	0.902158071	0.674176859	47.63388721
16:00	15:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.196654451	11.34714079	0.923983254	0.662413221	48.54042844
16:05	15:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.183915552	10.60328872	0.945808436	0.650630791	49.4358842
16:10	15:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.170974465	9.849474603	0.967633619	0.638835237	50.32048959
16:15	15:46	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.157837354	9.08599694	0.989458801	0.627031722	51.19448711
16:20	15:51	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.144510476	8.313147368	1.011283984	0.615224922	52.0581259
16:25	15:56	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.131000179	7.531210645	1.033109166	0.603419043	52.91166095
16:30	16:01	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.117312899	6.740464682	1.054934349	0.591617839	53.75535248
16:35	16:06	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.103455154	5.941180602	1.076759531	0.579824634	54.58946526
16:40	16:11	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.089433546	5.133622809	1.098584714	0.568042338	55.41426815
16:45	16:16	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.075254754	4.318049078	1.120409896	0.556273464	56.23003352
16:50	16:21	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.060925531	3.494710655	1.142235079	0.54452015	57.03703688
16:55	16:26	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.046452702	2.663852374	1.164060262	0.53278417	57.83555647
17:00	16:31	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.031843161	1.825712785	1.185885444	0.521066953	58.62587298
17:05	16:36	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.017103867	0.980524291	1.207710627	0.5093696	59.40826922
17:10	16:41	-78.90410959	-3.723295629	-23.02279006	0.002241841	0.12851329	1.229535809	0.497692897	60.18302993

8.Συμπέρασμα

Οι θερμικες ηλιακές μονάδες με τεχνολογίες οπτικής συγκέντρωσης είναι σημαντικές υποψηφίες για την μαζικη παραγωγή του ηλιακού ηλεκτρικού ρεύματος που χρειάζεται μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Τέσσερις τεχνολογίες συγκέντρωσης της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται σήμερα σε πιλοτικό και επίπεδο επίδειξης:

- Τα παραβολικα κοίλα(PTC)
- Οι ηλιακοι πυργοι ισχυος(CRS)
- Τα συστήματα δίσκου (DE).
- Ο συλεκτης Fresnel(LF)

Όλες οι υπάρχουσες πιλοτικές εγκαταστάσεις μιμούνται παραβολικές γεωμετρίες με μεγάλες επιφανειες κατοπτρου και δουλεύουν κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.Οι ανακλαστικοί συγκεντρωτες επιλέγονται συνήθως αφού έχουν τις καλύτερες προοπτικές για την ανάπτυξη.

Τα παραβολικά κοίλα και τα συστηματα Fresnel είναι δυσδιαστατα συστήματα συγκέντρωσης στα οποία η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε μια εστιακή γραμμή από ένα μονοαξονικο κατοπτρο. Είναι σε θέση να συγκεντρώνουν την ηλιακή ροή ακτινοβολίας 30-80 φορές και να θερμαίνουν το θερμικό υγρό έως 393°C.Οι μονάδες μετατροπής της ηλιακής ενέργειας ειναι γεννητριες που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine με ισχύ 30-80W.

Τα συστήματα πύργου είναι πιο περίπλοκα, δεδομένου ότι ο ηλιακός δέκτης που είναι τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου συγκεντρώνει το ηλιακό φως μέσω ενός πεδίου από ηλιακούς συλλέκτες-ηλιοστάτες.

Οι συντελεστές συγκέντρωσης είναι μεταξύ 200 και 1000 και τα μεγέθη των μονάδων είναι 10-200 MW. Ως εκ τούτου είναι κατάλληλοι για τις αγορές και την ενσωμάτωση στους προηγμένους θερμοδυναμικούς κύκλους. Μια μεγάλη ποικιλία των θερμικών ρευστών, όπως ο κορεσμένος ατμός, ο υπέρθερμος ατμός, τα τετηγμένα άλατα , ο ατμοσφαιρικός αέρας και ο πεπιεσμένος αέρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 300°C και 1000°C.

Τέλος τα συστήματα δίσκου-μηχανής είναι μικρές αρθρωτές μονάδες με αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μηχανές Stirling ή Brayton που είναι στο επίκεντρο τους.Τα συστήματα αυτά είναι παραβολικοί τρισδιάστατοι συγκεντρωτές με υψηλές αναλογίες συγκέντρωσης (1000-4000) και με μεγέθη μονάδων 5-25 kW.Χρησιμοποιουνται είτε ως συνδεδεμενα συστηματα στο κεντρικό δίκτυο είτε ως ανεξάρτητα συστηματα για παραγωγη ενεργειας.

Η διαδικασία της θερμικής ηλεκτροπαραγωγής πραγματοποιείται με τα παρακάτω βήματα:

- Συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ενός συστήματος συλλέκτη.Η συγκέντωση αυτη περιγρέφεται από τον δείκτη συγκέντωσης που εξαρτάται από την επιφάνεια ή την ροή ακτινοβολίας και την επιφάνεια ή την ροή απορόφησης του ηλίου

- Αύξηση της πυκνότητας ροής ακτινοβολίας (δηλαδή της συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα δέκτη), αν γίνεται

- Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (δηλαδή η μετατροπή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια (θερμότητα) γίνεται μέσα στο δέκτη)

- Μεταφορά της θερμικής ενέργειας σε μια μονάδα μετατροπής της ενέργειας

- Μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική χρησιμοποιώντας θερμική μηχανή(π.χ. ατμοστρόβιλος)

- Μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια.

-Αποθήκευση της θερμότητας σε ειδικά συστήματα-μέσα τα οποία διακρίνονται σε1)μέσα αποθήκευσης του ρευστού μεταφοράς θερμοότητας σε θερμομονωτικά δοχεία 2)μαζικά μέσα αποθήκευσης και δεύτερου θερμικού υλικού αν το ρευστο μεταφοράς θερμότητας είναι ακριβο οπως σκυρόδεμα,άμμος

Τα συστήματα παραβολικών κοίλων ή PTC ειναι γραμικά συγκεντρωτικά συστήματα κατάλληλα για λειτουργία σε θερμοκρασίες150-400°C.Ενα PTC αποτελείται από ενα παραβολικό κοίλο κάτοπτρο που ανακλά την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και την συγκεντρώνει σε ενα δέκτη σωληνοειδή που βρίσκεται στην εστιακή γραμμη της παραβολής. Η συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μειώνει την επιφάνεια απορρόφησης σε σχέση με την περιοχή παραθύρου του συλλέκτη και συνεπώς μειώνει σημαντικά τις συνολικές θερμικές απώλειες.Η συμπυκνωμένη ακτινοβολία θερμαίνει το υγρό που κυκλοφορεί μέσω του σωληνωειδους δέκτη, μετατρέποντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια με τη μορφή αισθητής θερμότητας του ρευστού των παραβολικών κοίλων(PTC). Ως ρευστό λειτουργίας σε αυτούς τους συλλέκτες χρησιμοποιούνται συνήθως θερμικά έλαια. Σε ένα τυπικό πεδίο PTC, αρκετοί συλλέκτες συνδέονται σε σειρά και κάνουν μια γραμμή , και μια σειρά γραμμών συνδέονται παράλληλα να επιτευχθεί η απαιτούμενη ονομαστική θερμική ισχύς στο σημείο του σχεδιασμού.

Το μέγεθος και η διάταξη των ηλιακών πεδίων με PTC εξαρτάται από πολλούς παράγοντες γεωγραφικούς,ημερολογιακούς καθώς και την ενέργεια που θέλουμε να πάρουμε.

Σημαντικό σημείο εξέτασης είναι η απόδοση των PTC η οποία εξετάζεται με τον δείκτη συγκέντρωσης,την γωνία εισόδου της ακτινοβολίας και την οριακή γωνία του συλλέκτη που σχετίζεται άμεσα με το μήκος τόξου του συλλέκτη,Οι απώλειες του PTC είναι κυρίως τριών ειδών: οι οπτικές απώλειες που οφείλεται στις οπτικές παραμέτρους του συλλέκτη (πχ ανακλαστικότητα) ,οι θερμικές απώλειες από το σωλήνα απορρόφησης στο περιβάλλον και οι γεωμετρικές απώλειες που που οφείλονται στη γωνία προσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη και έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε το ενεργειακό ισοζύγιο και την συνολική ισχύ του PTC.

Ο ατμός που κυκλοφορει τροφοδοτείται στα PTC με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας ενός υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλής πίεσης ρευστού στους ηλιακούς συλλέκτες και μεταφέροντας την θερμότητα σε άψητο λέβητα (unfired)όπου παράγεται ατμός. Ένα έλαιο χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό

-κυκλοφορόντας ζεστό νερό υπό πίεση στους ηλιακούς συλλέκτες και μετατρέποντας το σε ατμό υποπίεσης σε ειδική δεξαμενή.Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για θερμοκρασίες που δεν είναι πολύ υψηλες (κάτω 200°C), λόγω της υψηλής πίεσης που απαιτείται στα σωλήνες απορρόφησης και τις ειδικές δεξαμενές για υψηλότερες θερμοκρασίες.(συστήματα “flash steam”)

-Θερμαίνοντας απευθείας νερό στους συλλέκτες, (η λεγόμενη διαδικασία DSG).

Το ηλιακό πεδίο συλλέγει την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια με τη μορφή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια καθώς η θερμοκρασία του λαδιού που κυκλοφορεί στον συλλέκτη αυξάνεται . Αφότου θερμανθεί στον ηλιακό τομέα, το λάδι πηγαίνει στη γεννήτρια ατμού που αποτελείται από τρία στάδια: τον προθερμαντήρα όπου το νερό προθερμαίνεται σε θερμοκρασία κοντά στην εξάτμιση τον εξατμιστήρα που το προθερμασμένο νερό εξατμίζεται και μετατρέπεται σε κορεσμένο ατμό και τον υπερθερμαντήρα που ο κορεσμένος ατμός που παράγεται στον εξατμιστήρα θερμαίνεται στην θερμοκρασία που απαιτείται από τον ατμοστρόβιλο. Ο υπέρθερμος ατμός που προέρχεται από τη γεννήτρια ατμού στη συνέχεια πηγαίνει στον ατμοστρόβιλο οποίος κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα αναγκαία θερμικά συστήματα αποθήκευσης είναι δύο ειδών:τα συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης και αυτά με με διπλο μέσο αποθήκευσης.
Τα συστήματα ηλιακού πύργου ισχύος(CRS) αποτελούνται από τα παρακάτω υποσυστήματα:
-Το σύστημα συλλεκτών, ή ηλιοστατών που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό διαξονικών μονάδων παρακολούθησης ταξινομιμένων σε σειρές

-Τον ηλιακό δέκτη, όπου απορροφάται η συμπυκνωμένη ροή. Είναι το βασικό στοιχείο των εγκαταστάσεων και αποτελεί διεπαφή μεταξύ του ηλιακού τμήματος του συστήματος και του μπλοκ ισχύος.Οι δέκτες ειναι κυρίως δύο ειδών: οι εξωτερικοί (σωληνοειδείς και κυλινδρικοί)και οι δέκτες τύπου κοιλότητας. Η επιλογή μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας δέκτη είναι ένα πολύπλοκο έργο, καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας, το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας και ο θερμοδυναμικός κύκλος επηρεάζουν το σχεδιασμό
-Το σύστημα εναλλάκτη θερμότητας, όπου ένα ρευστό μέσο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από τον δέκτη στο στρόβιλο

-Το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας, με την οποία εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα κατά τη διάρκεια γεγονότων όπως το πέρασμα συνέφων και έτσι προσαρμόζεται στις καμπύλες ζήτησης

-Το ορυκτό εφεδρικό καύσιμο για υβριδικά συστήματα για μια πιο σταθερή απόδοση

-Το μπλοκ τροφοδοσίας, συμπεριλαμβανομένης της γεννήτριας ατμού και του εναλλάκτη στροβίλου

-Τον κεντρικό έλεγχο ,το UPS και τα συστήματα αποβολής θερμότητας

Τα εμπορικά CRS χωριζονται σε πολλές κατηγορίες αναλογα με το υλικό μεταφοράς της θερμότητας από τον δέκτη:

-Συστήματα τύπου νερου-ατμού (όπως ο σταθμός PS10 στην Ισπανία)

-Συστήματα τύπου λιωμένου αλατιού (πχ Solar Two στην Καλιφόρνια που χε σαν σκοπό να επιβεβαιώσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη λιωμένου αλατιού, της αποθήκευσης θερμότητας και τις τεχνολογίες της γεννήτριας ατμού και να βελτιώσει την ακρίβεια των οικονομικών προβλέψεων για τα εμπορικά έργα)

-Συστήματα με ογκομετρικούς ατμοσφαιρικούς δέκτες(πχ PHOEBUS και Solair)καθώς και

-Ηλιακά συστήματα προθέρμανσης (Έργο SOLGATE που δοκιμάστηκε στην Ισπανία).

Οι ηλιακές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μπορεί επίσης να εφαρμοστούν για την αποκεντρωμένη παραγωγή μέσω παραβολικών δίσκων στους οποίους επισυνάπτεται ένα PCU απευθείας στο συμπυκνωτή δλδ τα συστήματα Δίσκου-Μηχανής(Stirling). Ο δίσκος Stirling θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια από οποιαδήποτε άλλο μεγάλο σύστημα ηλιακής τεχνολογίας.Οι δίσκοι/κινητήρες χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, σπονδυλωτή διάταξη , αυτόνομη λειτουργία, και μια εγγενή υβριδική ικανότητα (την ικανότητα να λειτουργούν είτε με ηλιακή ενέργεια ή με ορυκτά καύσιμα, ή και με τα δύο).

Αποτελούνται από τα εξής τμήματα:

-Συγκεντρωτές :Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούν μια αντανακλαστική επιφάνεια από αλουμίνιο ή ασήμι Ο οπτικός σχεδιασμός και η ακρίβεια του συγκεντρωτή προσδιορίζουν τον δείκτη συγκέντρωσης

-Δέκτες:Οι δίσκοι/μηχανές χρησιμοποιούν μια σειρά από καθρέφτες που αντανακλούν και συγκεντρώνουν τις εισερχόμενες άμεσες κάθετες ηλιακές ακτινοβολίες σε έναν δέκτη, προκειμένου να επιτευχθούν οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για να μετατρέψει αποτελεσματικά τη θερμότητα ώστε να λειτουργήσει .Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε έναν κινητήρα

-Κινητήρες:Ο κινητήρας σε ένα σύστημα πιάτου μετατρέπει τη θερμότητα του κινητήρα σε μηχανική ισχύ κατά τρόπο παρόμοιο με τους συμβατικούς κινητήρες, δηλαδή από τη συμπίεση ενός υγρού όταν είναι κρύο, τη θέρμανση του πεπιεσμένου λειτουργικού υγρού, και στη συνέχεια την επέκταση μέσω ενός στροβίλου ή με ένα έμβολο.Οι μηχανές θερμότητας χρησιμοποιούν συνήθως ανοικτούς κύκλους Stirling και Brayton (αεριοστρόβιλους).

-Οι μηχανές κύκλου Stirling που χρησιμοποιούνταν στα πιάτα Stirling είναι υψηλής θερμοκρασίας, υψηλής εξωτερικής πίεσης θερμαινόμενοι κινητήρες που που λειτουργούν με υδρογόνο ή ήλιο

-Ο κινητήρας Brayton που ονομάζεται επίσης και κινητήρας τζετ, αεριοστροβίλου καύσης ή αεριοστροβίλων, είναι ενας κινητήρας εσωτερικής καύσης που παράγει ενέργεια από την ελεγχόμενη καύση των καυσίμων

Τέλος στα συγκεντωτικά ηλιακά συστήματα ανήκουν και τα συστήματα Fresnel.Στα μεγάλα πεδία του συλλέκτη Solarmundo των αρθρωτών ανακλαστήρων Fresnel συγκεντρώνεται ακτινοβολία σε σταθερό δέκτη σε πολλά μέτρα ύψος. Αυτός ο δέκτης περιλαμβάνει ένα δεύτερο στάδιο κάτοπτρου που κατευθύνει όλες τις εισερχόμενες ακτίνες σε ένα σωλήνα απορρόφησης.Το δευτερο στάδιο του συγκεντρωτή όχι μόνο διευρύνει το στόχο για τους ανακλαστήρες Fresnel αλλά επιπλέον μονώνει τον σωλήνα απορρόφησης. Το πίσω μέρος είναι καλυμμένο με μια αδιαφανή μόνωση και στο μπροστινό μέρος ένας υαλοπίνακας συναγωγής μειώνει τις απώλειες θερμότητας.

Παρά το γεγονός ότι ο συλλέκτης-πρωτότυπο έχει λειτουργήσει κάτω από πραγματικές συνθήκες και αποδείχτηκε οτι παράγει ατμό, καμία θερμική μετρήση απόδοσης είναι ακόμα διαθέσιμη.

Μια πειραματική σύγκριση μεταξυ Fresnel και PTC δείχνει ότι ο συλλέκτης Solarmundo Fresnel έχει απόδοση περίπου ίση με το 70% της θερμικής απόδοσης των παραβολικών γούρνων (UVAC) ανά επιφάνεια του ανοίγματος. Ωστόσο, η χαμηλότερη απόδοση υπερκαλύπτεται από το σημαντικά χαμηλότερο κόστος επενδύσης ,λειτουργίας και συντήρησης του πεδίου του συλλέκτη.

Πολλές χώρες έχουν προχωρήσει ή προχωρούν στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.Χώρες από την Μέση Ανατολή και Ινδία (Ισραήλ , Τουρκία , Ιορδανία , Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα,Ινδία, Ιράν) την Αφρικη (Αλγερία, Μαρόκο, Αίγυπτος),την Νότια Αφρική,την Ευρώπη ,την Ισπανία,την Ιταλία , τηνΕλλάδα ,την Γαλλία και άλλες Ευρωπαικές χώρες.Επίσης οι ΗΠΑ ,η Κίνα και η Αυστραλία έχουν προχωρήσει στο τομέα αυτόν.Από όλες αυτές τις χώρες οι πρωτοπόρες χώρες είναι η Ισπανιά απο την Ευρώπη και η ΗΠΑ όπως φαίνεται και από τον πίνακα στην εργασία.Επίσης οι πολιτικές των χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο όλο και πιο πολύ ευνοούν την ανάπτυξη των Ηλιακών Συγκεντωτικών Συστημάτων.

Βιβλιογραφία

1.National Renewable Energy Laboratory. Ηλεκτρονικό http://www.nrel.gov.

2.“Concetrating Solar Power Global outlook 09” Greenpeace International, SolarPACES and ESTELA

3,“Power From The Sun” by William B. Stine and Michael Geyer

4.“Parabolic-trough solar collectors and their applications” A. Fernandez-Garcıa, E. Zarza , L. Valenzuela , M. Perez March 2010

5.“Renewable Energy Technology Characterizations” Topical Report J.F. Galdo Electric Power Research Institute United States Department of Energy, December 1997

6.The Solarmundo line focussing Fresnel collector. Optical and thermal performance and cost calculations.” Andreas Häberle , Christian Zahler , Hansjörg Lerchenmüller , Max Mertins , Christof Wittwer , Franz Trieb , Jürgen Dersch PSE GmbH, Christaweg 40, Freiburg, Germany

7.“Renewable Energy Technology , Economics and Environment” Martin Kaltschmitt . Wolfgang Streicher Andreas Wiese ,Berlin Heidelberg 2007

8.Wikipedia “List of solar thermal power stations”

9.“Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy” Edited by Frank Kreith and D . Yogi Goswami , CRC Press 2007

10. “Εισαγωγή στα Ημιαγώγιμα Υλικά και Φωτοβολταϊκές Διατάξεις “, Κ. Δέρβος, 2011