



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ 100KW ΜΕ ΚΥΡΤΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ»**

**ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΠΑΡΤΖΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ: ΔΡ ΕΛΕΝΑ Β.Μ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΚΟΖΑΝΗ (ΙΟΥΛΙΟΣ, 2014)**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο ήλιος είναι το μόνο άστρο που επηρεάζει φανερά την ζωή μας, όχι μόνο την ημέρα αλλά και την νύχτα, με ηλιοφάνεια αλλά και τις νεφροσκεπείς ημέρες. Ο ήλιος παράγει και ακτινοβολεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας και παρέχει σχεδόν όλη την ενέργεια που χρησιμοποιούμε στη γη. Ακόμη και ο άνεμος και τα νέφη είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της ηλιακής ενέργειας στη γη. Από την ηλιακή ενέργεια προέρχεται η αιολική ενέργεια, ο κύκλος του νερού, η βιομάζα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και σχεδόν όλη η ενέργεια στο ηλιακό σύστημα.

Ο άνθρωπος συνειδητοποίησε τα οφέλη της χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα προϊστορικά κιόλας χρόνια. Άμεση συνέπεια ήταν η ανάπτυξη της τεχνολογίας φτάνοντας στο σήμερα με εγκαταστάσεις Φ/Β Πάρκων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναπτύξουμε συγκεκριμένα τα κυρτά κάτοπτρα των οποίων η χρήση αποτέλεσε πρωτοπόρα λύση στην τεχνολογία των Φ/Β συστημάτων διότι έχουν μεγαλύτερη θερμική απόδοση σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες και παράγουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας. Αναφέρεται ότι οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες διαθέτουν έναν συγκεντρωτικό ανακλαστή ο οποίος κατευθύνει την ηλιακή ακτινοβολία από μια μεγάλη επιφάνεια σε έναν μικρότερο δέκτη και στην απορροφητική επιφάνεια. Οι συλλέκτες αυτοί μπορεί να είναι σταθεροί ή μη. Μεγάλο μέρος της διπλωματικής εργασίας αναφέρεται στο σύστημα στήριξης των Φ/Β συστημάτων.

Επιπλέον αναλύονται τα κύρια είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών που είναι τα παραβολικά κάτοπτρα, τα οποία συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε γραμμικό δέκτη. Μικρή αναφορά γίνεται και στα παραβολικά πιάτα τα οποία μοιάζουν με δορυφορικό πιάτα, μόνο που αποτελούνται από απορροφητή και τα οποία μπορούν να φτάσουν θερμοκρασία δέκτη ως και 1000°C επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερη απόδοση.

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται μεγάλη αναφορά στο σχεδιασμό των διαφόρων συστημάτων αλλά και πιο συγκεκριμένα στους παραβολικούς συλλέκτες CPC, οι οποίοι κατασκευάζονται από δύο μισούς παραβολικούς ανακλαστές και ένα μεταλλικό ανακλαστή καθιστώντας τους ικανούς να διοχετεύουν και διάχυτη και άμεση ακτινοβολία.

## **ABSTRACT**

The sun is the only star that obviously affects our lives, not only the day but also at night, but sunny and overcast days. The sun produces and radiates huge amounts of energy and provides almost all the energy we use on earth. Even the wind and the clouds are the result of the influence of solar energy on earth.

The man realized the benefits of using solar radiation from the prehistoric years already. The immediate consequence was the development of technology reaching today with facilities PV Farm. This Diplomat Thesis develops curved mirrors whose use are leading technology solution of PV systems because they have a higher thermal efficiency compared to flat panels and produce more energy per unit of surface. The solar collectors have a centralized reflector which directs sunlight from a large area in a smaller receiver and absorbent surface. The panels they could be fixed or be immobile.

Moreover we try to analyze the main types of concentrators collectors are parabolic mirrors that concentrate solar radiation on a linear receiver. Little reference is made and parabolic dishes which resemble satellite dishes, only consisting of absorber, which can reach 1000°C and thus achieving greater efficiency.

In this Diplomatic Thesis there is a great reference in designing various systems and more specifically to parabolic collectors CPC, which is made from two half parabolic reflector and a metal reflector enabling them to channel and direct and diffuse radiation.

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Μπαρτζή Ιωάννη καθώς και την κ. Παπαδοπούλου Ελένη για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, δίνοντας μου με τον τρόπο αυτό την ευκαιρία να ασχοληθώ με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Επίσης τους ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθώς και για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο φίλο και συνάδελφο μου Ζώτο Γεώργιο ο οποίος με καθοδήγησε με τις γνώσεις της σε όσα θέματα αφορούν τη διπλωματική μου εργασία λύνοντας σημαντικές απορίες που πρόεκυψαν κατά την διεξαγωγή αυτής. Περισσότερο από όλους όμως θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και κυρίως τους γονείς μου Γεώργιο και Ευανθία Παυλίδη, που με την υπομονή και την αγάπη τους με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια. Σε αυτούς οφείλω ότι έχω πετύχει μέχρι σήμερα και γι' αυτό τους αφιερώνω αυτή τη διπλωματική εργασία.

Αθανάσιος Παυλίδης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ABSTRACT.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Εισαγωγή .....	8
Τεχνολογία Φ/Β συστημάτων .....	9
1.1. Ιστορική αναδρομή .....	9
1.2. Ο ήλιος .....	12
1.3. Η ηλιακή ακτινοβολία.....	13
1.3.1. Μεταβολές της έντασης λόγω απόστασης.....	15
1.3.2. Μεταβολή της έντασης στη διάρκεια της ημέρας.....	16
1.3.3. Μεταβολή της έντασης στη διάρκεια του χρόνου.....	17
1.3.4. Η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου.....	19
1.4. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο .....	20
1.5. Επαφή p-n .....	22
1.6. Ορθή και Ανάστροφη Πόλωση της διόδου .....	23
1.7. Φωτοβολατική τεχνολογία.....	25
1.7.1. Τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου .....	25
1.7.2. Η τεχνολογία λεπτού φιλμ .....	26
1.8. Είδη ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των Φ/Β.....	27
1.8.1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.....	28
1.8.2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο .....	28
1.8.3. Ταινία πυριτίου .....	29
1.8.4. Άμορφο πυρίτιο.....	29

1.8.5. Θειούχο κάδμιο .....	30
1.8.6. Αρσενιούχο γάλλιο.....	30
1.8.7. Τελουριούχο κάδμιο .....	30
1.9. Απόδοση ημιαγωγών.....	30
1.10. Τα φωτο-ηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία .....	32
1.11. Περιγραφή του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου.....	32
1.11.1. Το πρωτότυπο συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και τα βασικά τμήματα του.....	33
1.11.2. Αρχή λειτουργίας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου μαζί με τη Φ/Β πλάκα .....	35
1.11.3. Το μηχανολογικό τμήμα.....	35
1.12. Η Βάση.....	36
1.12.1 Το σύστημα του κατακόρυφου άξονα .....	38
1.12.2. Το σύστημα του οριζόντιου άξονα .....	41
1.12.3. Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου .....	42
1.12.4. Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων .....	42
1.13. Το ηλεκτρολογικό τμήμα .....	42
1.14. Το ηλεκτρονικό τμήμα .....	44
1.15. Μετατροπείς.....	48
1.15.1. Βασικοί ορισμοί – Σύμβολο.....	48
1.15.2. Διάκριση μετατροπέων .....	49
1.15.3. Αδρά Βήματα Επιλογής Του Κατάλληλου αντιστροφέα.....	50
1.15.4. Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα .....	51
1.15.5. Αντιστροφέας για Φ/Β Συστήματα.....	51
2. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες .....	52
2.1. Παραβολικά κάτοπτρα σχήματος σκάφης .....	55
2.1.1 Ηλιακά πάρκα .....	55
2.1.2 Τυπικό παραβολικό κάτοπτρο - θερμικός βαθμός απόδοσης.....	57
2.1.3 Βελτιωμένα κάτοπτρα .....	61

2.2 Παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες CPC .....	79
2.2.1 Συγκεντρωτικοί παραβολικοί συλλέκτες με επίπεδους απορροφητές διπλών επιφανειών (CPC) .....	79
2.2.2 Βελτιωμένοι τρισδιάστατοι (3-D) CPC ηλιακοί συλλέκτες .....	82
3. Παραβολικά πιάτα .....	87
3.1 Τυπικό παραβολικό πιάτο .....	87
4. Απαιτούμενες διαδικασίες για την υλοποίηση της επένδυσης .....	88
4.1 Διαδικασίες Αδειοδότησης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	88
4.1.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ από 20 έως 150 kWp .....	90
4.1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη των 150 kWp .....	90
4.2 Διαδικασίες για την υλοποίηση επένδυσης στα Φ/Β συστήματα.....	91
4.3 Απαιτούμενες διαδικασίες για την υλοποίηση Φ/Β συστήματος με παραβολικά κάτοπτρα 100 KW .....	93
4.4 Αδειοδοτική διαδικασία του επενδυτικού σχεδίου.....	95
4.5 Λοιπές διαδικασίες.....	96
5. Χωροταξικά δεδομένα της εγκατάστασης .....	98
5.1 Επιλογή του χώρου εγκατάστασης .....	98
5.2 Ηλιακό δυναμικό της θέσης εγκατάστασης .....	98
5.3 Αγορά και διαμόρφωση χώρου εγκατάστασης.....	102
6. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός .....	103
6.1 Κριτήρια επιλογής εξοπλισμού .....	103
6.2 Μηχανολογικός και ηλεκτρολογικός εξοπλισμός .....	105
6.2.1 Κύριος παραγωγικός εξοπλισμός .....	105
6.2.2 Βοηθητικός εξοπλισμός .....	106
6.2.3 Εξοπλισμός εξυπηρέτησεως.....	107
6.2.5 Συντήρηση εξοπλισμού .....	108
6.2.6 Ασφάλιση επένδυσης.....	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	109

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής αποτελεί η καταγραφή, κατηγοριοποίηση και ανάλυση διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών και συγκεκριμένα των κυρτών κατόπτρων.

Πιο αναλυτικά, το πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας ασχολείται με τη φυσική των φωτοβολταϊκών κυττάρων και την ηλιακή ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα αναλύει την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δίνοντας σημαντική έμφαση και στους μετατροπείς της ηλιακής ενέργειας.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τους μη συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Αντικείμενο του δεύτερου κεφαλαίου αποτελούν όλες οι σχηματικές λεπτομέρειες, ο βαθμός απόδοσης αλλά και ο γενικότερος σχεδιασμός του συστήματος. Αναφορά γίνεται και στα βελτιωμένα κάτοπτρα με ιδιαίτερη προσοχή στους παραβολικούς συλλέκτες CPC.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται μια πολύ σύντομη αναφορά στα παραβολικά πιάτα, ενώ στο τέταρτο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο παραθέτει μελέτη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου ισχύος 100KWp.

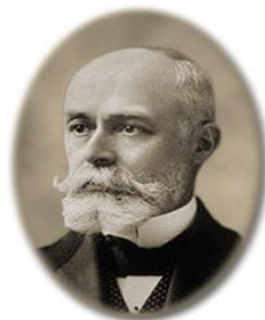


## 1. Τεχνολογία Φ/Β συστημάτων

### 1.1. Ιστορική αναδρομή

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούν μια προσέγγιση της τεχνολογίας για μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Αναλύοντας τη σύνθετη λέξη φωτοβολταϊκό, ο όρος «Φώτο» προέρχεται από το φως και ο όρος «βόλτα» αναφέρεται στον Alessandro Volta, έναν από τους πρωτοπόρους στην μελέτη του ηλεκτρισμού. Επομένως, με την λέξη φωτοβολταϊκό αναφερόμαστε « σε αυτό που σχετίζεται με την ύλη ή την συσκευή στην οποία ο ηλεκτρισμός παράγεται ως αποτέλεσμα έκθεσης στο φως [12]. Υπό το πρίσμα της Φυσικής, βέβαια, με τη λέξη φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ουσιαστικά εννοούμε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η έρευνα για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ξεκίνησε από το Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel, το 1839. Ο Becquerel παρατήρησε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα ηλεκτρόδιο πλατίνας αυξάνεται, υπό την παρουσία φωτός, όταν αυτό είναι βυθισμένο σε ηλεκτρολύτη. Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.

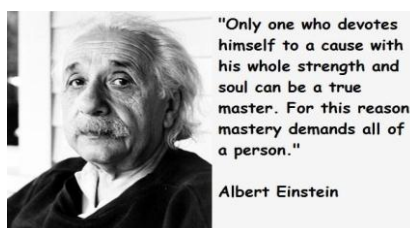


Alexandre Edmond Becquerel  
(1820-1891)

Εικόνα 1. Ο Edmond Becquerel

Μετά από 45 χρόνια περίπου, ο Charles Fritz, το 1883, κατασκευάζει το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο χωρίς τη χρήση χημικών διαλυμάτων, χρησιμοποιώντας κρύσταλλο από το υλικό σελήνιο (Se). Η απόδοση του στοιχείου ήταν 1%. Νωρίτερα, δυο επιστήμονες του Cambridge, οι Adams και Day, το 1877, είχαν παρατηρήσει αυξομειώσεις στις ηλεκτρικές ιδιότητες του σεληνίου, όταν αυτό εκτίθεται στον ήλιο[13].

Όπως είναι φυσικό, χωρίς την κατανόηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου, η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα παρέμενε μικρή και μόνο η ερμηνεία του φαινομένου αυτού, θα βοηθούσε στην βελτίωση της. Ο Albert Einstein γράφει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το 1904. Για αυτήν τη θεωρητική του εξήγηση τιμήθηκε με βραβείο Nobel, το 1921 [14].



Εικόνα 2. Ο Albert Einstein

Η θεωρία γύρω από το ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο, ολοκληρώθηκε από τον Schottky, το 1930, ο οποίος ασχολήθηκε με τον σχηματισμό των ημιαγωγών.

Όπως ήταν φυσικό, με την κατανόηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων έφτασε στο 6%, το 1953, από τους Chapin, Pearson και Fuller, χρησιμοποιώντας ηλιακή κυψέλη πυριτίου (Si)[11].

Έτσι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αρχίζουν να βρίσκουν εξειδικευμένες εφαρμογές. Πράγματι, το 1958 οι Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποίησαν φωτοβολταϊκά πλαίσια στο τεχνητό δορυφόρο, Vanguard I, για την παροχή βοηθητικής πηγής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πέτυχαν να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρική ενέργεια το πομπό, μάλιστα εξακολούθησαν να λειτουργούν για ακόμη έξι συνολικά χρόνια. Ο ίδιος ο δορυφόρος χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τα επόμενα 40 χρόνια [15]. Η παραπάνω πετυχημένη δοκιμή, ήταν η αφορμή, από το 1969 και μετά, όλοι οι τεχνητοί δορυφόροι, τόσο από της Ηνωμένες Πολιτείες, όσο και από τη πρώην Σοβιετική Ένωση, να έχουν σαν κύρια πηγή ενέργειας τα ηλιακά στοιχεία. Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.



Εικόνα 3. Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος που χρησιμοποίησε την ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β σύστημα.

Μια άλλη επανάσταση στη τεχνολογία των φωτοβολταϊκών είναι η κατασκευή τους, με τη χρήση άμορφου πυριτίου. Το 1976 οι Calson και Wronski, κατασκευάζουν ηλιακό στοιχείο από άμορφο πυρίτιο, με πολύ μικρή απόδοση 0,01 % [11].

Παρόλο το υψηλό κόστος κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, η παγκόσμια παραγωγή ισχύος από φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδόν φθάνει τα 1000 MW το 1999, ενώ μέσα σε 8 χρόνια η ισχύς αυτή εννεαπλασιάζεται [16].

Σήμερα οι ηλιακές κυψέλες φθάνουν σε απόδοση του 18% του προσπίπτοντος σε αυτές ηλιακού φωτός. Τα εμπορικά ηλιακά στοιχεία κατασκευάζονται, με διάφορες τεχνολογίες, όπως αυτή του πυριτίου ( μονοκρυσταλικό, πολυκρυσταλικό) αλλά και του λεπτού φιλμ (άμορφο). Επίσης χρησιμοποιούνται άλλα φωτοευαίσθητα υλικά, όπως δισεληνιούχος ινδικός χαλκός (C<sub>6</sub>SnSe<sub>2</sub>) και τελλουριούχο κάδμιο (CdTe).

Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η συμπληρωματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πράγματι, εδώ και πολλά χρόνια στην Βόρεια Αμερική πολλές εταιρίες παραγωγής ενέργειας υποστηρίζουν τα φορτία κλιματισμού τους θερινούς μήνες με ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα.

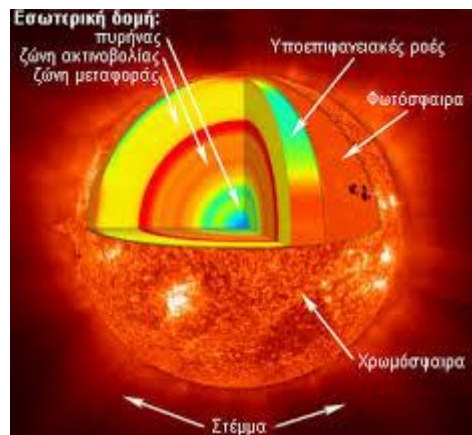
Τα πρώτα βήματα στο τομέα αυτό ξεκίνησαν στην Ευρώπη, το 2000, κυρίως με προγράμματα στήριξης της αρχικής επένδυσης και της αποδιδόμενης στο ηλεκτρικό δίκτυο ενέργειας. Η στήριξη της αρχικής επένδυσης είχε θετικά αποτελέσματα στην Γερμανία [17] αυξάνοντας την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ από Φ/Β συστήματα.

Λαμβάνοντας υπόψη, το θετικό αποτέλεσμα της προσπάθειας της Γερμανίας, η Ελλάδα στηρίζει την εγκατάσταση Φ/Β με διάφορα προγράμματα, όπως η 3η προκήρυξη του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας (ΚΠΣ-2), που αφορούσε επενδύσεις επιχειρήσεων σε Φ/Β συστήματα στην Κρήτη, με επιδότηση 70%, όσο και με το πρόγραμμα ΕΠΑΝ του Γ΄ Κοινοτικού πλαισίου για στήριξη αυτόνομων υβριδικών Φ/Β συστημάτων [18].

Πλέον τώρα, παγκοσμίως όλο και περισσότερα Φ/Β συστήματα είναι ενσωματωμένα σε κτίρια και είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ευρέως διαδεδομένη είναι και η χρήση αυτόνομων Φ/Β συστημάτων για την βελτίωση της ποιότητας της ζωής σε απομακρυσμένες περιοχές, που δεν υπάρχει πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος στην αγορά εμφανίζονται όλο και περισσότερα καταναλωτικά προϊόντα όπως αριθμομηχανές, ρολόγια κλπ [19] που χρησιμοποιούν μια Φ/Β κυψέλη.

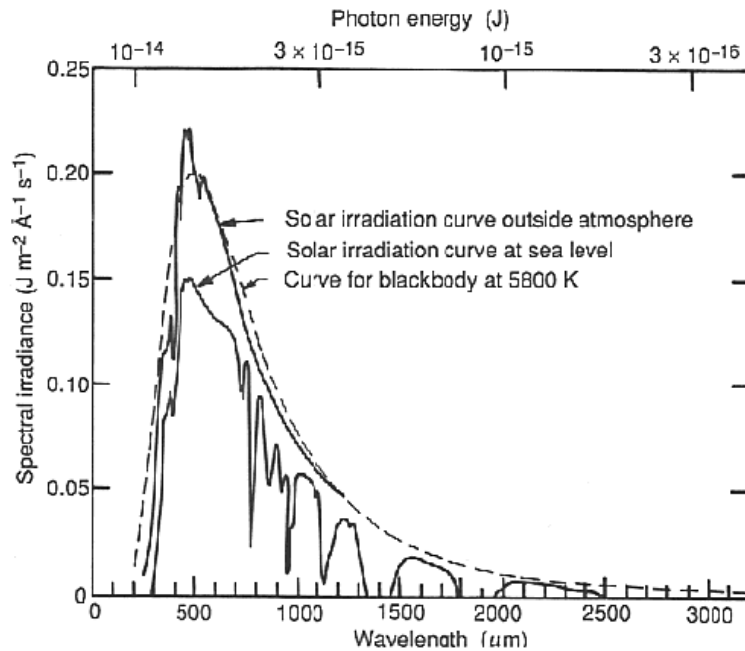
## 1.2. Ο ήλιος

Ο ήλιος είναι μια αεριώδης σφαίρα διαμέτρου  $1.42 \times 10^6$  km και θερμοκρασίας 5800K στην επιφάνεια του, δηλαδή την φωτόσφαιρα. Αποτελείται από 78% υδρογόνο, 20% ήλιο και 2% άλλα υλικά. Η θερμοκρασία του, αυξάνεται στα βαθύτερα στρώματά του, παίρνοντας τις υψηλές τιμές που απαιτούνται για τη διατήρηση των πυρηνικών αντιδράσεων που τον ενεργοποιούν [37].



Εικόνα 4. Ο Ήλιος

Πηγή της ηλιακής ενέργειας πιστεύεται ότι είναι η σύντηξη τεσσάρων ατόμων υδρογόνου, από την οποία σχηματίζεται ένα άτομο ηλίου [20]. Το ηλιακό φάσμα, που προκύπτει από μετρήσεις, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



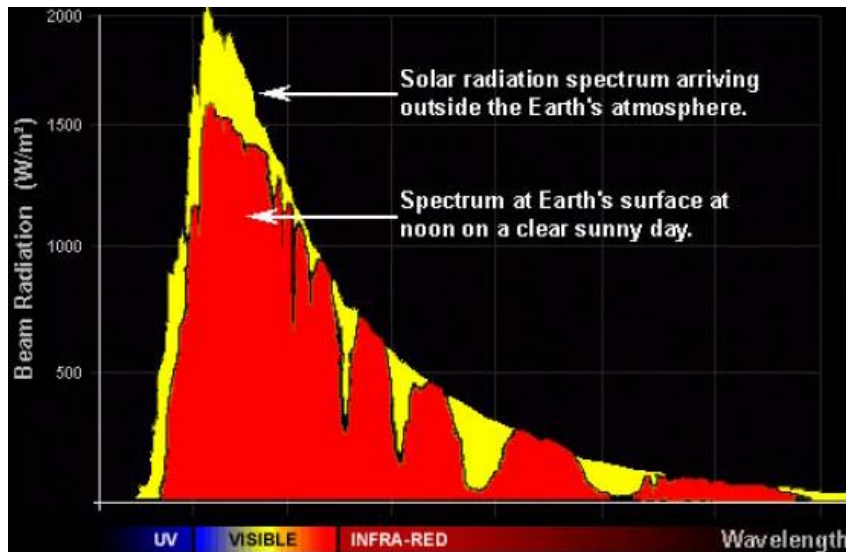
Εικόνα 5. Προσομοίωση της ακτινοβολίας του ήλιου με αυτή μέλανος σώματος

### 1.3. Η ηλιακή ακτινοβολία

Η βασική πηγή ενέργειας της ατμόσφαιρας είναι ο ήλιος. Η ηλιακή ενέργεια εκπέμπεται δια μέσου του διαστήματος, κυρίως ως ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ( $c=2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ), έτσι ώστε η ακτινοβολία από τον ήλιο να διανύει την απόσταση ηλίου-γης ( $150 \times 10^6 \text{ km}$ ) σε  $\sim 8.3$  λεπτά. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από  $10^{-14}$  έως  $10^{10} \text{ m}$ , τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητες από  $10^{22} \text{ s}^{-1}$  ως  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Το σύνολο των μηκών κύματος, ή των συχνοτήτων, συνιστούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Αυτό αποτελείται από τρεις ζώνες:

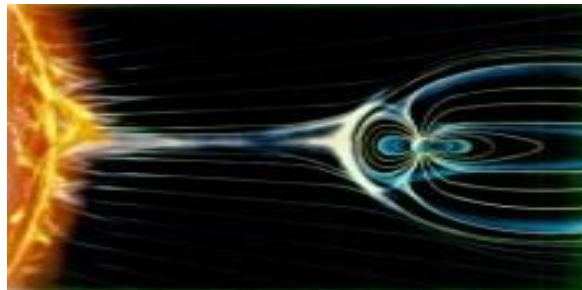
- Την Υπεριώδη
- Την Ορατή
- Την Υπέρυθρη

Η ουσιαστική ακτινοβολία που φτάνει στην ατμόσφαιρα ορίζεται μεταξύ 0,15 και 4μm [40]. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ήλιου παρουσιάζεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ήλιου

Ο ήλιος εκτός από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπει και το λεγόμενο «ηλιακό άνεμο», δηλαδή πρωτόνια και ηλεκτρόνια, όμως αυτή η μορφή της ενέργειας, δεν είναι εκμεταλλεύσιμη [41]. Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και αξιολόγησή του.



Εικόνα 7. Ο Ηλιακός άνεμος

Ένα σημαντικό μέγεθος για την αποτελεσματικότητα των Φ/Β γεννητριών είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ως ένταση  $B$  της ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε  $1 \text{ m}^2$  επιφάνειας σε  $1 \text{ sec}$ .

$$B = E/St \Rightarrow B = P/S$$

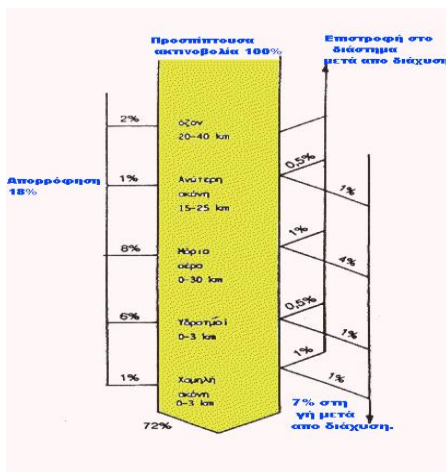
όπου  $E$  η ηλιακή ενέργεια,  $S$  το εμβαδόν της επιφάνειας,  $t$  ο χρόνος και  $P$  η ισχύς. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γης, ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το

τετράγωνο της απόστασης. Η ισχύς που εκπέμπεται από τον ήλιο στο διάστημα είναι  $56 \times 10^{26}$  Cal/min. Επομένως η ένταση στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας θα είναι:

$$B = E/4\pi R^2 \Rightarrow B = P/4\pi R^2$$

όπου R η μέση απόσταση μεταξύ των κέντρων γης – ηλίου, δηλ  $1.5 \times 10^{11}$ m. Οι τελευταίες μετρήσεις θεωρούν σαν ακριβή τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας ίση με  $1367 \text{ W/m}^2$ .

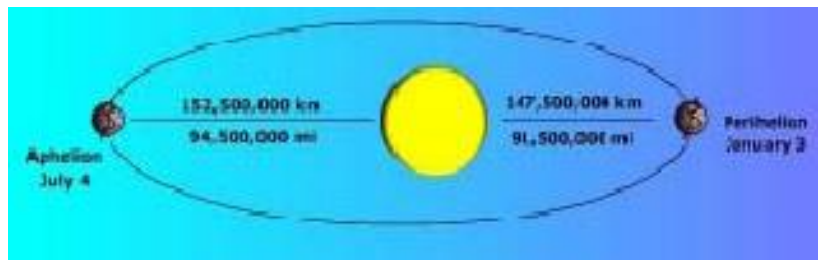
Όμως έχουμε ελάττωση της ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Το 18% της ακτινοβολίας απορροφάται στα διάφορα στρώματα, όπως όζον, σκόνη, υδρατμοί, μόρια του αέρα και τελικά μόνο το 72% φθάνει απευθείας στην επιφάνεια της γης. Το υπόλοιπο μέρος από αυτή διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Από αυτή το 7% φθάνει στη γη μετά από διάχυση ενώ το 3% επιστρέφει στο διάστημα, δηλαδή μόνο το 79% της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στη επιφάνεια της γης [42]. Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.



Εικόνα 8. Το τελικό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης

### 1.3.1. Μεταβολές της έντασης λόγω απόστασης

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ελαττώνεται κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης, καθώς απομακρυνόμαστε από την πηγή εκπομπής [43]. Η γη γυρίζει γύρω από τον ήλιο στη γνωστή ελλειπτική τροχιά μεταβάλλοντας συνεχώς την μεταξύ τους απόσταση, όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9. Η ελλειπτική τροχιά της γης

Η γη είναι πλησιέστερα στον ήλιο την 3η Ιανουαρίου (περιήλιο), ενώ η μέγιστη απόσταση παρατηρείται στις 4 Ιουλίου (αφήλιο). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο θέσεις ανέρχεται στα 5.000.000 χιλιόμετρα. Τελικά η Γη στις 3 Ιανουαρίου δέχεται 7% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τις 4 Ιουλίου [42].

Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.

### 1.3.2. Μεταβολή της έντασης στη διάρκεια της ημέρας.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια κάθετη στη αρχή της ατμόσφαιρας της γης είναι  $1367 \text{ W/m}^2$ . Επειδή, όπως αναλύσαμε προηγουμένως, μόνο το 79% της ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της γης, η ένταση της ακτινοβολίας πέφτει στα  $1000 \text{ W/m}^2$ .

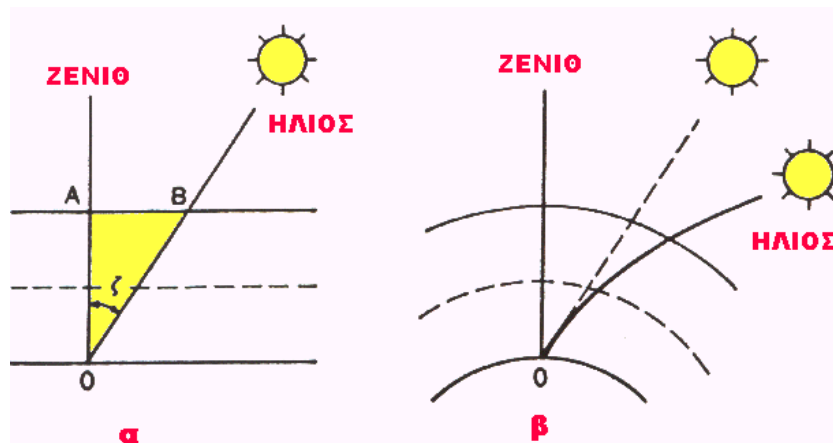
Όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που ακολουθεί η ακτινοβολία μέχρι την επιφάνεια της γης τόσο μεγαλύτερη είναι και απορρόφηση. Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερο, όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ του τόπου. Επομένως η μέγιστη ένταση στη μονάδα επιφάνειας προκύπτει όταν οι ακτίνες είναι κάθετες προς την επιφάνεια.

Οι ακτίνες του ήλιου σχηματίζουν με την κατακόρυφο του τόπου, γωνία ( $\zeta$ ) γνωστή ως Ζενιθία Απόσταση [42]. Άρα η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με την ζενιθία απόσταση, θα είναι:

$$B=B_0\cos(\zeta)$$

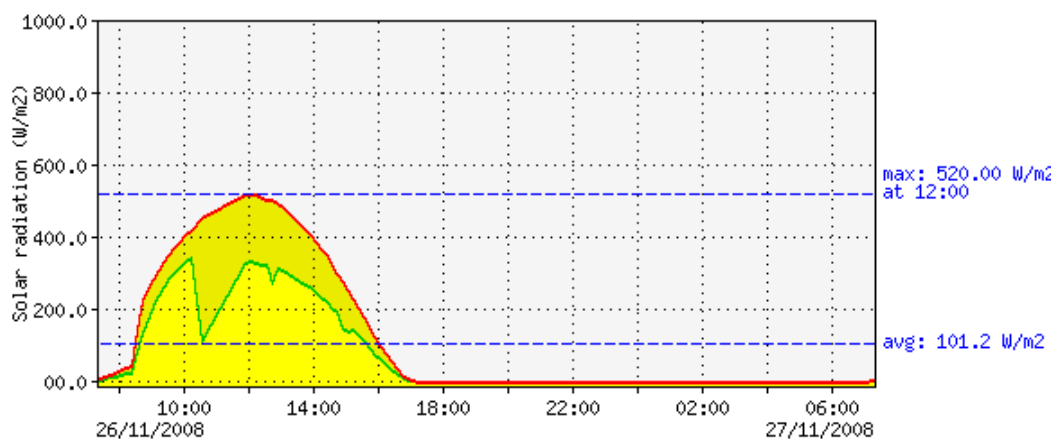
Για το λόγο αυτό, τις πρωινές και απογευματινές ώρες η ένταση του ήλιου είναι μικρότερη από την ένταση όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ του τόπου.





Εικόνα 10. α) Μικρότερη διαδρομή της ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ του τόπου β) ατμοσφαιρική διάθλαση από τα σφαιρικά γήινα στρώματα της ατμόσφαιρας

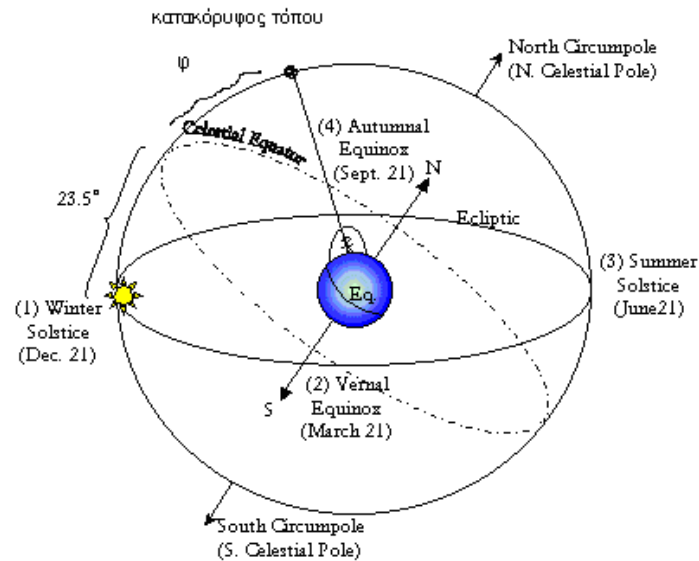
Επομένως, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται στη διάρκεια της ημέρας μεταξύ μιας μηδενικής τιμής, κατά τη διάρκεια της νύχτας και μιας μέγιστης τιμής, όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ του τόπου. Πράγματι, σύμφωνα με τη σχέση (11) όταν η γωνία  $\zeta = 0$  τότε  $B = B_0$ . Τελικά η ηλιακή ακτινοβολία στην διάρκεια της ημέρας έχει τη παρακάτω μορφή. Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.



Εικόνα 11. Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια κατά τη διάρκεια της μέρας [44]

### 1.3.3. Μεταβολή της έντασης στη διάρκεια του χρόνου

Όπως γνωρίζουμε ο άξονας περιστροφής της γης γύρω από τον εαυτό της δεν είναι κάθετος στο επίπεδο περιφοράς τη γης γύρω από τον ήλιο, αλλά σχηματίζει γωνία  $23,5^\circ$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας με το χρόνο.



Εικόνα 12. Εποχιακή μεταβολή με χρήση της ουράνιας σφαίρας

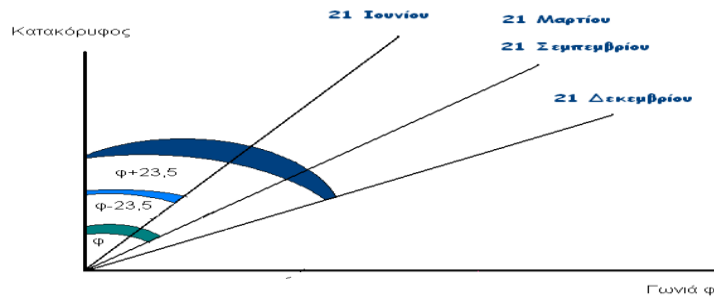
Αν χρησιμοποιήσουμε την ουράνια σφαίρα τοποθετώντας τη γη στο κέντρο της, τότε η φαινόμενη πορεία του ήλιου πάνω σε αυτή ονομάζεται εκλειπτική.

### Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.

Ο ουράνιος ισημερινός και η εκλειπτική έχουν μια απόκλιση μεταξύ τους, που μεταβάλλεται συνεχώς, ανάλογα με την εποχή. Οι τιμές της απόκλισης παίρνουν τις μέγιστες τιμές κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο ενώ μηδενίζεται στις ισημερίες:

- Θερινό ηλιοστάσιο -21 Ιουνίου  $-23.45^\circ$
- Χειμερινό ηλιοστάσιο 21 Δεκεμβρίου  $+23.45^\circ$
- Στις ισημερίες 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου, η απόκλιση ισούται είναι μηδέν.

Για να είναι λοιπόν, οι ακτίνες του ήλιου, κάθετες σε ένα γεωγραφικό τόπο με γεωγραφικό πλάτος  $\varphi$  θα πρέπει να υπάρχει μια διόρθωση στη γωνία που σχηματίζει ο κατακόρυφος του τόπου με την εκλειπτική, κατά μια γωνία που παίρνει τιμές από  $\varphi + 23,50^\circ$  μέχρι  $\varphi - 23,50^\circ$  ανάλογα με την εποχή.



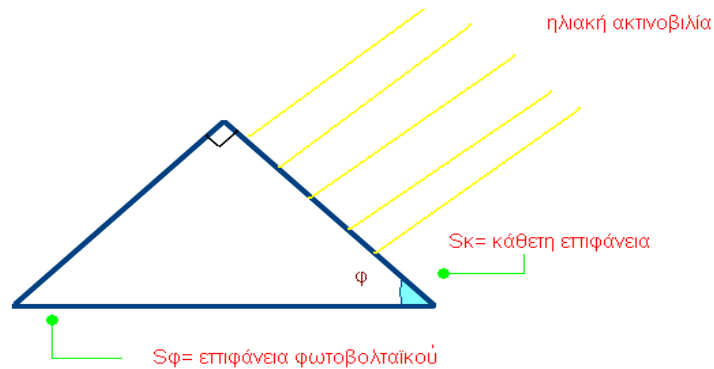
Εικόνα 13. Θέση του ηλίου στο θερινό (21 Ιουνίου) και χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο καθώς και στην εαρινή ( 21 Μαρτίου) και φθινοπωρινή ( 21 Δεκεμβρίου) ισημερία σε ένα γεωγραφικό τόπο φ.

Η διόρθωση έχει ως εξής:

Καθώς περνάνε οι μέρες από τις 21 Σεπτεμβρίου και μετά, η γωνία αυξάνει, γιατί ο ήλιος κατεβαίνει χαμηλότερα και παίρνει τη μέγιστη τιμή στις 21 Δεκεμβρίου  $\varphi+23.45^\circ$ . Μετά της 21 Δεκεμβρίου ο ήλιος αρχίζει να ανεβαίνει και η απόκλιση γίνεται ίση με το γεωγραφικό πλάτος στις 21 Μαρτίου. Στη συνέχεια η γωνία μικραίνει συνεχώς μέχρι το θερινό ηλιοστάσιο που παίρνει τη τιμή  $\varphi-23.45^\circ$  [42, 45].

#### 1.3.4. Η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου

Η συνολική ενέργεια που δέχεται η φωτοβολταϊκή πλάκα εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας σε κάθετη επιφάνεια αλλά και από τη γωνία που σχηματίζεται η κάθετη επιφάνεια με την ηλιακή ακτινοβολία και την επιφάνεια της φωτοβολταϊκής πλάκας.



Εικόνα 14. Η ένταση είναι μεγαλύτερη όταν η ακτίνες είναι κάθετες στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού

Από το σχήμα προκύπτει:

$$\cos\varphi = S_{\text{κάθετη}} / S_{\text{φ/Β}} \Rightarrow S_{\text{κάθετη}} = S_{\text{φ/Β}} \cos\varphi$$

και επομένως η ενέργεια E είναι:

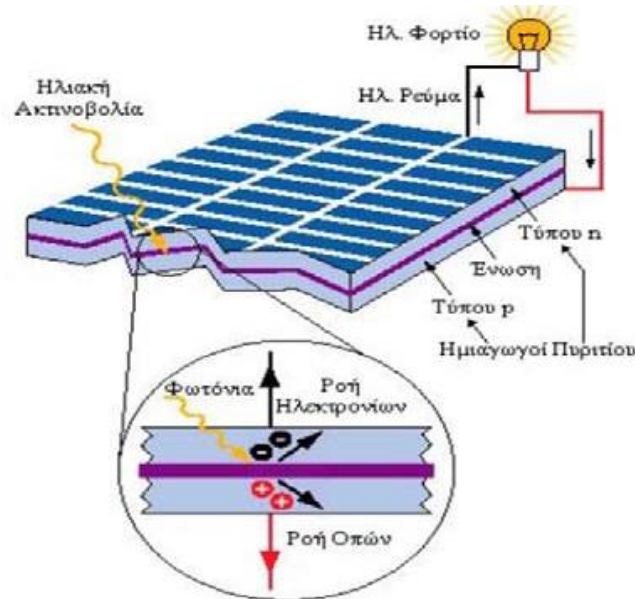
$$E=BI S_{καθετη} \cos\varphi$$

Διαπιστώνουμε ότι όταν  $\theta=0$  η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι η μέγιστη δυνατή [45]. Επειδή οι ηλιακές ακτίνες αλλάζουν διεύθυνση με τη πάροδο του χρόνου, μόνο όταν υπάρξει ένας μηχανισμός που να περιστρέφει τη πλάκα, ώστε να είναι συνεχώς κάθετα στις ακτίνες του ήλου, θα έχουμε τη μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας.

#### **1.4. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο**

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%.

Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των p και n ενώσεων των ημιαγωγίμων υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτούργησε με απόδοση του 10%. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, αποτελεί τη βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο, το τελουριούχο κάδμιο, ο δισελινιοϊνδιούχος χαλκός κλπ, χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου ωστόσο παραμένει το ευρύτερα διαδεδομένο φωτοβολταϊκό στοιχείο.



Εικόνα 15. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, τότε ένα μέρος αυτού ανακλάται, ένα άλλο τη διαπερνά και το υπόλοιπο απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός, ουσιαστικά σημαίνει τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας η οποία συνήθως είναι θερμότητα.

Παρ' όλα αυτά όμως, υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνειά τους, σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται η τεράστια τεχνολογική πρόοδος του τομέα της ηλεκτρονικής και του τομέα της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια - "πακέτα" ηλιακής ενέργειας. Τα φωτόνια αυτά, περικλείουν διαφορετικά ποσά ενέργειας που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος. Η σύγχρονη τεχνολογία, μας έδωσε τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, με τη χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν διόδους ημιαγωγίμων ενώσεων τύπου p-n με τη μορφή επίπεδης πλάκας. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα

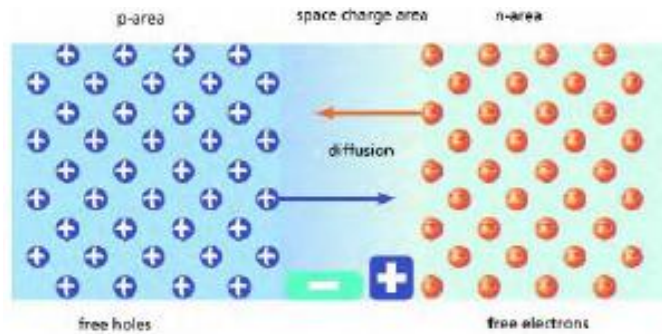
χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται περίσσεια φορέων, δηλαδή περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, δέχονται την επίδραση ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου της ένωσης p-n.

Εξαιτίας αυτού, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες αυτούς συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο, παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος από τη φωτοβολταϊκή διάταξη προς το φορτίο. Συμπερασματικά η όλη διάταξη, αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες της παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο [2,3].

### **1.5. Επαφή p-n**

Στη συνέχεια, γίνεται μία συνοπτική αναφορά του τρόπου λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός, για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγίμων υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p).

Οι σημαντικότερες ιδιότητες και εφαρμογές των διατάξεων ημιαγωγών, δεν προέρχονται κυρίως από τη δημιουργία φορέων αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση των φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών, είναι η ένωση p-n (positive-negative) που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σχηματίζεται όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο τύπου n. Αμέσως τότε, ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p, όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι επίσης πολύ λιγότερα.

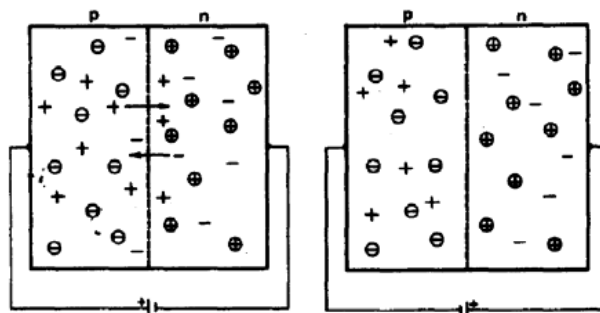


Σχήμα 16: Επαφή p-n

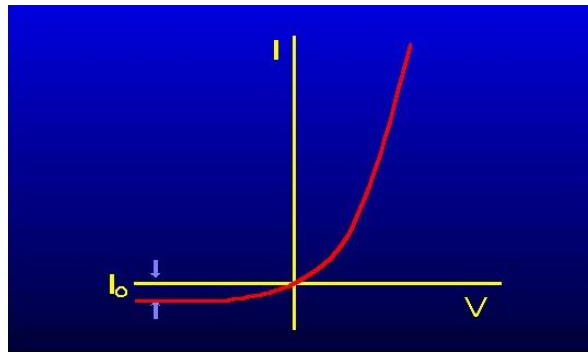
Δημιουργείται με αυτό τον τρόπο μία περιοχή στην οποία υπάρχουν λίγοι φορείς αγωγιμότητας, γνωστή ως ζώνη εξάντλησης φορέων ή περιοχή αραίωσης. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα ωστόσο παραμένουν στη περιοχή n και τα αρνητικά στην περιοχή p. Έτσι, δημιουργείται ένα εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο, το οποίο αντιτίθεται στην κίνηση των φορέων αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η παραπάνω διάχυση να μη συνεχίζεται επ' άπειρον. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που ικανοποιούν το νόμο δράσης των μαζών. Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος [2].

### 1.6. Ορθή και Ανάστροφη Πόλωση της Διόδου

Η μία περίπτωση είναι να επιβληθεί στη δίοδο p-n ορθή πόλωση, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής να συνδεθεί με το τμήμα τύπου n της διόδου, και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p. Τότε, τα ηλεκτρόνια ρέουν ανεμπόδιστα από την πηγή, διαμέσου του τμήματος τύπου n, προς την περιοχή της ένωσης όπου επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής, διαμέσου του τμήματος τύπου p.

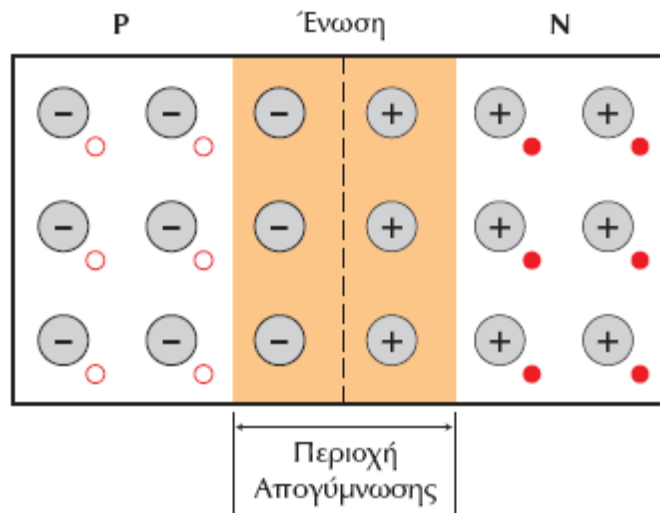


Σχήμα 17: Συνδεσμολογία ορθής και ανάστροφης πόλωσης



Σχήμα 18: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης διόδου p-n

Αντίθετα, στην ανάστροφη πόλωση, δηλαδή αν ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδεθεί με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα τύπου n, γίνεται επανασύνδεση των οπών του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή, και, από την άλλη μεριά, απομάκρυνση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του τμήματος τύπου n, προς το θετικό πόλο της πηγής.



Εικόνα 19. Η περιοχή απογύμνωσης στην επαφή PN.

Έτσι, οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει, και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα η δίοδος προβάλλει μεγάλη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Δηλαδή μπορεί μια δίοδος που έχει σε ορθή πόλωση αντίσταση μόλις 10 Ω, να την αυξάνει στην αντίστροφη πόλωση σε 100 MΩ, δηλαδή να γίνεται δέκα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη.

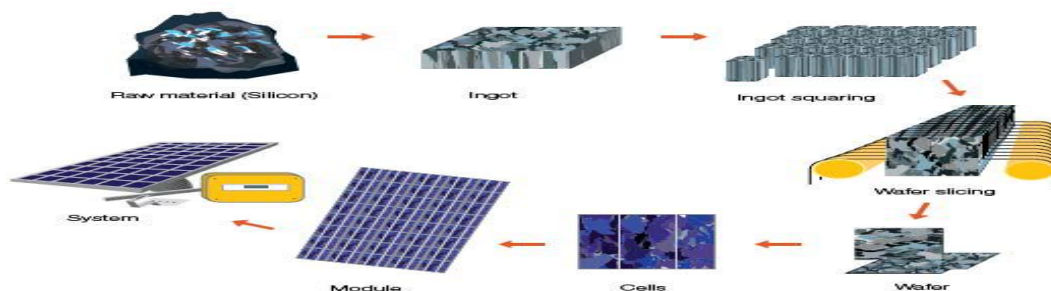


## 1.7. Φωτοβολατική τεχνολογία

### 1.7.1. Τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου

Η ηλιακή κυψέλη, εγκλείεται με θερμική διεργασία μέσα σε διαφανή ερμητικά σφραγισμένη πολυμερή μεμβράνη και στην εμπρός πλευρά προσαρμόζεται ανθεκτικό γυαλί ειδικών προδιαγραφών. Όπως αναφέραμε, το πάχος της όλης κατασκευής μαζί με το γυαλί δεν ξεπερνά τα 5 χιλιοστά και συνήθως τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου για εύκολη τοποθέτηση και για να αποκτήσει μηχανική αντοχή.

Η διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού πυριτίου έχει πολλά και ενεργοβόρα βήματα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο κύκλος παραγωγής ενός Φ/Β συστήματος [30-31]. Η πρώτη ύλη που είναι το πυρίτιο που πρέπει να είναι υψηλής καθαρότητας και προέρχεται, κυρίως, από τα υπολείμματα της βιομηχανίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η πρώτη ύλη μετατρέπεται με θερμική διεργασία του πυριτίου σε μονοκρυσταλλικούς κυλίνδρους ή πολυκρυσταλλικές χελώνες. Ακολουθεί η διαδικασία κοπής των μονοκρυσταλλικών κυλίνδρων και των πολυκρυσταλλικών χελωνών σε λεπτά δισκία (φέτες) πυριτίου. Στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή των δισκίων πυριτίου σε ηλιακά στοιχεία κατάλληλα για να παράγουν ενέργεια. Τέλος, έχουμε τη συναρμολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων από τα ηλιακά στοιχεία



Εικόνα 20. Συνοπτικά η διαδικασία παραγωγής ενός Φ/Β συστήματος

Όσο αφορά τη τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου, οι κυψέλες που κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 12 και 17% [31]. Ενώ το μερίδιο αγοράς αυτής της τεχνολογίας είναι 90% (βλέπε Εικόνα 20). Τα βασικά είδη της τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου είναι:

- Μονοκρυσταλλικό (sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικό (mc-Si)

- Ταινίας πυριτίου (Ribbon sheets c-Si)



Εικόνα 21. Η τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου

### 1.7.2. Η τεχνολογία λεπτού φιλμ

Η διαδικασία παραγωγής των φωτοβολταϊκών από λεπτά υμένια χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυνατότητα αυτοματισμού της παραγωγής και οικονομία πρώτων υλών, λόγω του μικρού πάχους των ενεργών υλικών. Ομοίως τα ηλιακά στοιχεία λεπτών υμενίων εγκλείονται σε ερμητικά σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Βασική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η επιστροφή των υλικών γίνεται καταρχήν σε ολόκληρη την επιφάνεια της ηλιακής πλάκας (συνήθως σε κατάλληλα προετοιμασμένη γυάλινη επιφάνεια) και κατόπιν με ακτίνες λέιζερ, αφαιρούνται λεπτές λωρίδες υλικού και δημιουργούνται τα ηλιακά στοιχεία που ύστερα συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και συνθέτουν την Φ/Β γεννήτρια [30, 32].



Εικόνα 22. Η τεχνολογία λεπτού υμένιου

Τα στοιχεία από λεπτά υμένια οδηγούνται σε πρόσμιξη με πολύ λεπτά στρωματά φωτοευαίσθητων υλικών, τα οποία είναι πολύ φθηνά όπως το γυαλί, το πλαστικό. Η βιομηχανική απόδοση τους είναι πολύ μικρότερη από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, κυμαίνεται μεταξύ 6 και 11%. Τα είδη λεπτού φιλμ ανάλογα με το υλικό κατασκευής είναι:

- άμορφο πυρίτιο (a-Si)

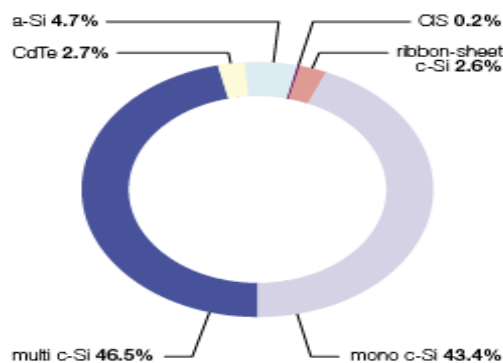
- τελουριούχο κάδμιο (CdTe).
- Δισεληνιούχο Ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIS, CIGS)
- Θειούχο κάδμιο(CdS)
- Αρσενιούχο γάλλιο(GaAs)

### 1.8. Είδη ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των Φ/Β

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα μερίδια της τεχνολογίας των ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των Φ/Β κυψελών. Αβίαστα προκύπτει το συμπέρασμα ότι το στοιχείο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων ευρείας κατανάλωσης είναι το πυρίτιο σε όλες τις μορφές του, κρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό, και άμορφο. Η ευρεία χρήση του πυριτίου οφείλεται σε δυο κυρίους λόγους:

A) Είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής με αποτέλεσμα, οι ιδιότητες του να έχουν μελετηθεί καλά τα τελευταία 40 χρόνια.

B) Παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες. Για παράδειγμα τα Φ/Β συστήματα σε διαστημόπλοιο με τροχιά προς το Δία, λειτούργησαν ικανοποιητικά με συνθήκες  $50 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία  $-120^\circ \text{ C}$ . Σε ένα άλλο, επίγειο, παράδειγμα, τα Φ/Β πλαίσια έδειξαν να αντέχουν στις κορυφές των βουνών και με ταχύτητα ανέμων πάνω από  $100 \text{ Km/h}$  ή κοντά σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον, όπως της θάλασσας [11]. Η θεωρητική απόδοση του πυριτίου μπορεί να φτάσει το 23.92% [33].



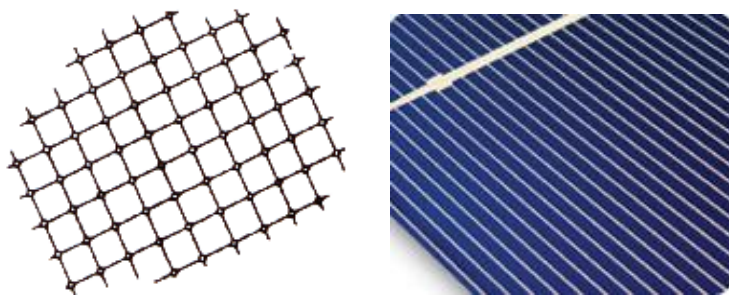
Εικόνα 23. Μερίδια της τεχνολογίας κυψελών το 2006.

Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν περίπου το 90% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών [34]. Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμένων, όπως το άμορφο πυρίτιο, το Τελουριούχο κάδμιο και ο δισελνιούχο Ινδικό χαλκό.

### 1.8.1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Το Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο χαρακτηρίζεται από τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Η απόδοση στη βιομηχανία φτάνει το 17%. Βέβαια έχει το μειονέκτημα ότι είναι πιο ακριβό στη κατασκευή του.

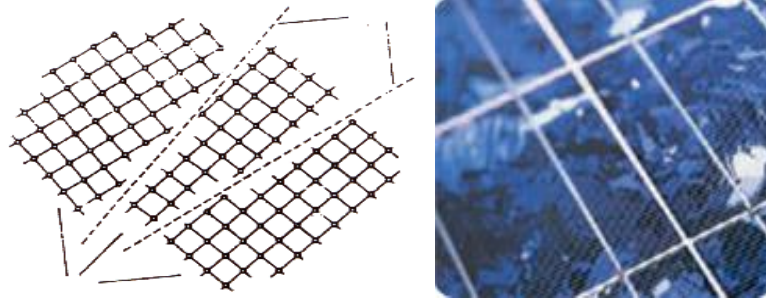
Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις αναφέρονται στις προσπάθειες που γίνονται για τη μείωση της ανακλαστικότητας σε επίπεδα μικρότερα του 10% που ισχύει σήμερα. Το σύνηθες αντανακλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου είναι το  $TiO_2$  [35].



Εικόνα 24. α) Δομή Κρυσταλλικού πυριτίου- β) κυψέλη κρυσταλλικού πυριτίου

### 1.8.2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο σε αντίθεση με το μονοκρυσταλλικό ή κρυσταλλική δομή παίρνει διαφορετικό προσανατολισμό σε διάφορες περιοχές του στερεού. Αυτές οι επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές μπορούν να γίνουν αντιληπτές και με γυμνό μάτι. Όσο μεγαλύτερες σε έκταση είναι οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του. Στο εργαστήριο η απόδοση έχει φτάσει και το 20%.



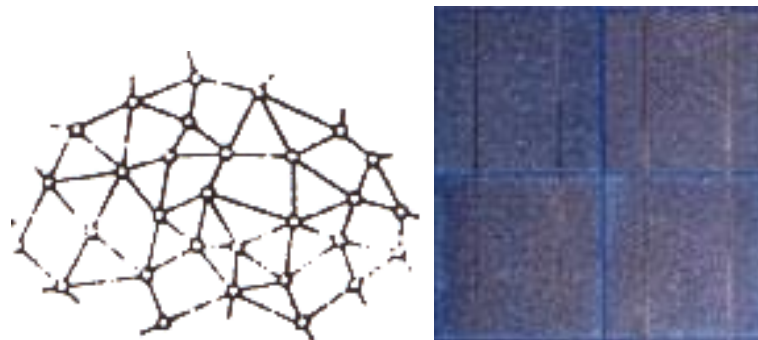
Εικόνα 25. α) Δομή πολυκρυσταλλικού πυριτίου- β) κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου

### 1.8.3. Ταινία πυριτίου

Είναι μια νέα τεχνολογία που προσφέρει ως και 50% μείωση στη χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 12 και 13% ενώ στο εργαστήριο φτάνει το 18% με προσθήκη ατόμων υδρογόνου [36].

### 1.8.4. Άμορφο πυρίτιο

Στο άμορφο πυρίτιο τα άτομα παίρνουν εντελώς αυτόνομη μορφή, αφού καταλαμβάνουν τυχαίες θέσεις και δομή



Εικόνα 26. α) Δομή άμορφου πυριτίου- β) κυψέλη άμορφου πυριτίου

Το άμορφο πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Συμβολίζεται με a-Si και το ενεργειακό διάκενο κυμαίνεται από 1.2 ως 1.6 eV. Μια βελτίωση στις ιδιότητες του άμορφου πυριτίου έχουμε όταν γίνει προσθήκη ατόμων υδρογόνου στο τέλος των ατελών δεσμών. Σε αυτήν τη περίπτωση στο άμορφο πυρίτιο προστίθεται 10%- 40% υδρογόνο. Η απόδοση του υδρογονούχου πυριτίου μπορεί να φτάσει και το 15% [11]. Η βιομηχανική απόδοση του είναι 7% [34].

#### **1.8.5. Θειούχο κάδμιο**

Εκτός από το πυρίτιο, ένα άλλο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το θειούχο κάδμιο CdS. Η λειτουργία του φωτοβολταϊκού σε αυτή τη περίπτωση οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος του CdS και του χαλκού Cu. Ουσιαστικά δημιουργείται ένα στρώμα από  $Cu_2S$  που είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1.2 eV. Τα ηλιακά στοιχεία του θειούχου καδμίου έχουν σχετικά καλή απόδοση, περίπου 10%, αλλά υπάρχουν επιφυλάξεις ως προς τη διάρκεια ζωής που είναι μικρότερη από του πυριτίου και επηρεάζεται εύκολα από την υγρασία [11].

#### **1.8.6. Αρσενιούχο γάλλιο**

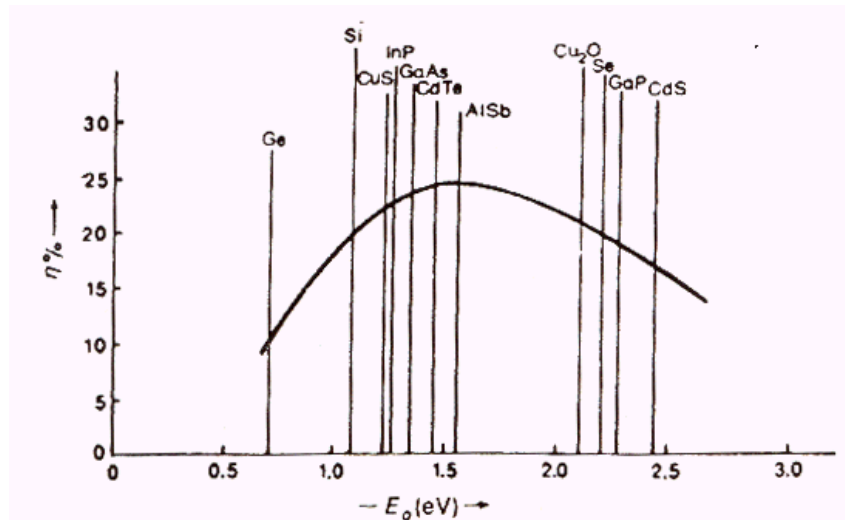
Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται είναι το αρσενιούχο γάλλιο GaAs με ενεργειακό διάκενο 1.43 eV και θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Το υλικό αυτό έχει το πλεονέκτημα να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες. Έχει βρεθεί ότι η απόδοση του GaAs πέφτει στο μισό, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 200 °C, στο πυρίτιο Si στους 120 °C, ενώ στο CdS στους 80 °C. [11]

#### **1.8.7. Τελουριούχο κάδμιο**

Είναι ένα υλικό που η βιομηχανική του απόδοση είναι μεταξύ του 8 και 10%. Η καλύτερη απόδοση οφείλεται στη καλή απορρόφηση που παρουσιάζει στο ηλιακό φως. Τείνει όμως να καταργηθεί γιατί συμφωνά με έρευνες παρουσιάζει καρκινογόνα αποτελέσματα.

#### **1.9. Απόδοση ημιαγωγών**

Η απόδοση των διάφορων ημιαγωγών σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο παρουσιάζεται παρακάτω [11].



Εικόνα 27. Θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο .

Από το σχήμα βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη θεωρητική απόδοση την έχουν υλικά με ενεργειακό χάσμα γύρω στα 1.5 eV. Παρόλο που άλλα υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση από το πυρίτιο, αυτό υπερिशύει, αφού για την επιλογή ενός υλικού πρέπει να λάβουμε υπόψη, το κόστος παραγωγής, τη σταθερότητα στις εξωτερικές συνθήκες, όπως υγρασία, θερμοκρασία, το ειδικό βάρος και άλλα.

Στον παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων που υπάρχουν διαθέσιμα στη αγορά [34].

Technology	Thin Film				Crystalline wafer based	
	Amorphous silicon (a-si)	Cadmium telluride (CdTe)	CIS	a-Si/m-Si	Monocrystalline	Multicrystalline
Cell Efficiency at STC*	6-7%	8-10%	10-11%	8%	16 –17%	14 – 15%
Module Efficiency					13 – 15%	12 – 14%
Area needed per kWp** (for modules)	15m <sup>2</sup>	11m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	app. 7 m <sup>2</sup>	app. 8 m <sup>2</sup>

\* Standard Testing Conditions: 25°C, light intensity of 1,000W/m<sup>2</sup>, air mass = 1.5  
 \*\* kWp = kilowatt 'peak'. Solar PV products and arrays are rated by the power they generate at Standard Testing Conditions

Εικόνα 28. Απόδοση κυψέλης σε σχέση με την τεχνολογία και το υλικό κατασκευής της

### Άλλοι τύποι κυψελών

Υπάρχουν και άλλοι τύποι φωτοβολταϊκών τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, αλλά η εφαρμογή τους βρίσκεται σε ερευνητικό επίπεδο.

✓ **Συγκεντρωτικό φωτοβολταϊκό**

Μερικές ηλιακές κυψέλες σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν με μεγάλη ποσότητα ηλιακού φωτός. Αυτές οι κυψέλες συνεργάζονται με συλλέκτες, που χρησιμοποιούνται σαν φακοί για να στρέψουν το φως του ήλιου επάνω τους. Η κύρια ιδέα είναι να χρησιμοποιήσουν πολύ λίγο από το ακριβό ημιαγωγικό υλικό. Οι αποδόσεις είναι της τάξης 20 με 30% [31].

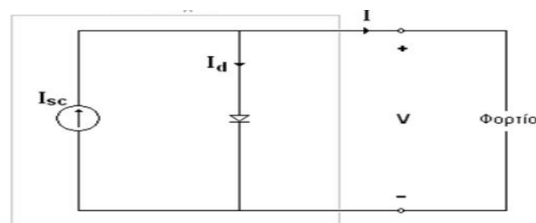
✓ **Εύκαμπτες ηλιακές κυψέλες**

Με βάση μια παρόμοια διαδικασία παραγωγής της κυψέλης από λεπτό υμένιο, όταν προστίθεται το ενεργό υλικό σε ένα λεπτό πλαστικό, η κυψέλη μπορεί να γίνει εύκαμπτη. Αυτό ανοίγει μια σειρά νέων εφαρμογών, όπως η τοποθέτηση τους στις οικοδομές στην στέγη, σαν κεραμίδια αλλά και διάφορες καταναλωτικές εφαρμογές [31].

### 1.10. Τα φωτο-ηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία

Τα φωτο-ηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία (dye doped Titania solar cell), αποτελούνται από μια υγρή χρωστική ουσία που απορροφά το φως και ένα νανοκρυσταλλικό υμένιο  $TiO_2$  που μεταφέρει τα ηλεκτρικά φορτία στα ηλεκτρόδια.

Επίσης, σε ανάπτυξη βρίσκεται η διαδικασία εναπόθεσης λεπτών υμενίων, μικρο και πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε κεραμικά υποστρώματα, σε μεταλλικό φύλλο, σε γυαλί, και σε γραφίτη, επιχειρώντας την εξεύρεση μιας μεταβατικής λύσης στο μεσοπρόθεσμο πρόβλημα επάρκειας πρώτης ύλης από την βιομηχανία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων [32].



Εικόνα 29. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού Στοιχείου

### 1.11. Περιγραφή του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου

Απαιτήση για κίνηση σε δυο διευθύνσεις

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, μεταβολή στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έχουμε:

- Λόγω μεταβολής της απόστασης γης -ηλίου



- Κατά τη διάρκεια της ημέρας
- Κατά τη διάρκεια του έτους.

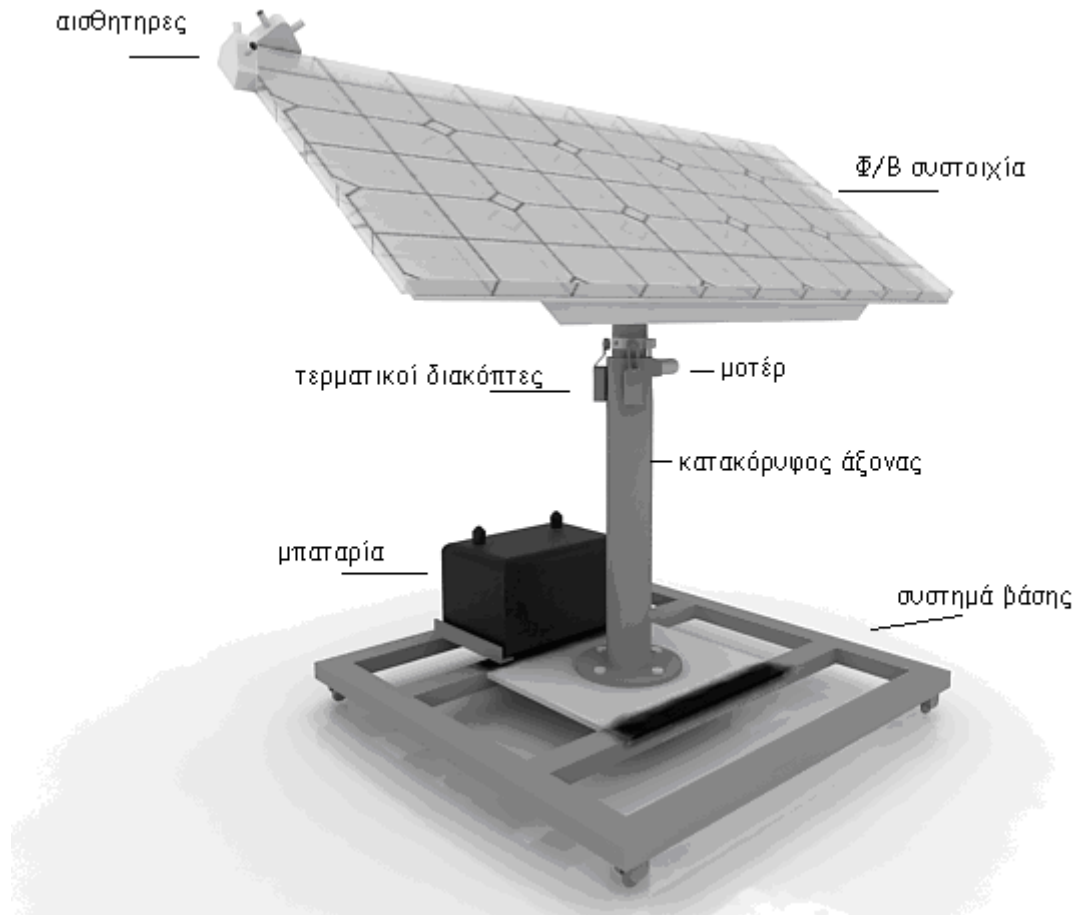
Από τις παραπάνω τρεις μεταβολές, στην πρώτη περίπτωση, δεν μπορεί να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση. Μπορούμε όμως, να εξασφαλίσουμε την μεγίστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας στις άλλες δυο περιπτώσεις. Για το σκοπό αυτό, το σύστημα παρακολούθησης του ηλίου θα πρέπει να εξασφαλίσει την κίνηση του Φ/Β πλαισίου σε δυο άξονες, τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα.

Η κίνηση του Φ/Β πλαισίου στον οριζόντιο άξονα θα εξασφαλίζει τη μεγίστη δυνατή απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή της κλίσης του Φ/Β πλαισίου στη διάρκεια του έτους, καθημερινά, στρέφοντας συνεχώς κάθετα το πλαίσιο στις ηλιακές ακτίνες. Ουσιαστικά δίνουμε τη δυνατότητα στο Φ/Β πλαίσιο να ακολουθήσει την εποχιακή μεταβολή και να μεταβάλει μόνο του, τη γωνία κλίσης από  $\varphi - 23,5^\circ$  μέχρι  $\varphi + 23,5^\circ$  (όπου  $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου).

Επίσης με την κίνηση του Φ/Β πλαισίου στον κατακόρυφο άξονα μεταβάλουμε τη ζενίθια γωνία, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα και η αζιμούθια γωνία να μεταβάλλεται συνεχώς και να μηδενίζεται με τη σειρά της. Με αυτό το τρόπο δίνουμε τη δυνατότητα στο Φ/Β πλαίσιο να περιστρέφεται συνεχώς, ακολουθώντας την πορεία του ήλιου.

#### **1.11.1. Το πρωτότυπο συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και τα βασικά τμήματα του**

Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου που προτείνουμε απεικονίζεται στο παρακάτω 3D μοντέλο. Στο σύστημα έχει προσαρμοστεί και η Φ/Β συστοιχία.



Εικόνα 27. Το 3D μοντέλο της κατασκευής

Το σύστημα αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

1. Το μηχανολογικό τμήμα

- ✓ Βάση
- ✓ Σύστημα κατακόρυφου άξονα
- ✓ Σύστημα οριζόντιου άξονα
- ✓ Βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου
- ✓ Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων

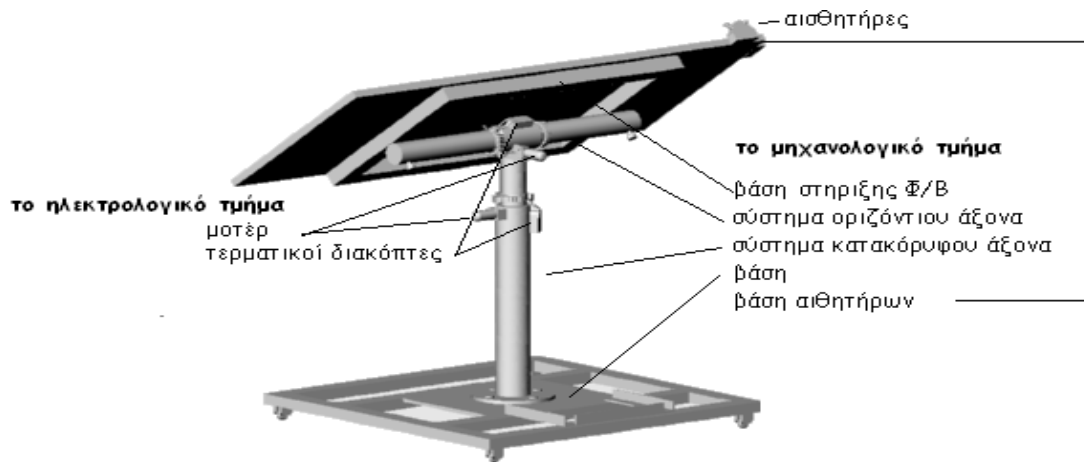
2. Το ηλεκτρολογικό τμήμα

- ✓ Δύο μοτέρ (1 μοτέρ για κάθε κίνηση)
- ✓ Δύο ζεύγη τερματικών διακοπών ( 1 ζεύγος για κάθε κίνηση)

### 3. Το ηλεκτρονικό τμήμα

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα

- ✓ Οι αισθητήρες ( φωτοαντιστάσεις)



Εικόνα 28. Πίσω όψη της κατασκευής

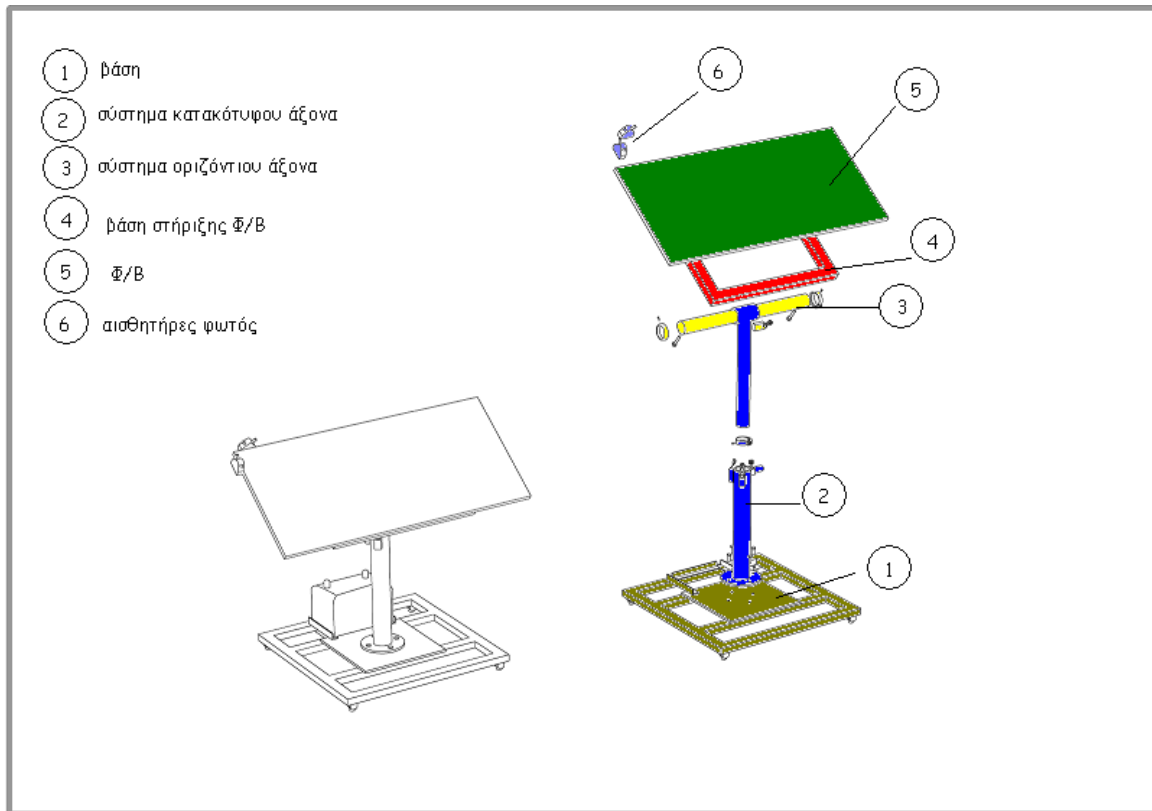
#### 1.11.2. Αρχή λειτουργίας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου μαζί με τη Φ/Β πλάκα

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι η εξής:

Στην πάνω δεξιά γωνία της Φ/Β πλάκας υπάρχουν δυο ζεύγη αισθητήρων (φωτοαντιστάσεων). Κάθε ζεύγος αντιστοιχεί και σε μια κίνηση, στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Συγκεκριμένα το ζεύγος που εφαρμόζει στην μεγάλη ακμή του Φ/Β είναι υπεύθυνο για την κίνηση στον κατακόρυφο άξονα, (ρύθμιση της γωνίας αζιμούθιου) ενώ αυτό που εφαρμόζει στη μικρή ακμή είναι υπεύθυνο για την κίνηση στο οριζόντιο άξονα (ρύθμιση της γωνίας κλίσης). Σε κάθε ζεύγος ο ένας αισθητήρας είναι υπεύθυνος για την δεξιόστροφη κίνηση και ο άλλος για την αριστερόστροφη κίνηση του μοτέρ. Όταν κάθε ζεύγος φωτοαντιστάσεων δέχεται το ίδιο ηλιακό φως, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα αποφασίζει ότι η Φ/Β συστοιχία πρέπει να παραμείνει ακίνητη. Όταν ο ένας αισθητήρας από το ζεύγος δέχεται περισσότερο ηλιακό φως, τότε μέσω του ηλεκτρονικού κυκλώματος, δίνεται εντολή στο αντίστοιχο μοτέρ να περιστρέψει τη Φ/Β πλάκα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, μετά από μικρό χρονικό διάστημα, οι αισθητήρες να δέχονται πάλι την ίδια ηλιακή ακτινοβολία. Τότε το μοτέρ σταματά αυτόματα την κίνηση. Οι τερματικοί διακόπτες υπάρχουν για να σταματάνε τη περιστροφή, όταν η πλάκα έχει πάρει την επιθυμητή θέση, π.χ. μετά τη δύση του ηλίου. Επίσης προστατεύουν τη Φ/Β γεννήτρια σε περίπτωση αδικαιολόγητης εντολής για συνεχή περιστροφή του κινητήρα, λόγω βλάβης.

#### 1.11.3. Το μηχανολογικό τμήμα

Το μηχανολογικό τμήμα είναι η βαριά κατασκευή πάνω στην οποία στηρίζεται το Φ/Β και παράλληλα δίνει τη δυνατότητα για οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση.



Εικόνα 29. Τα βασικά μέρη του μηχανολογικού τμήματος

Αποτελείται από τα εξής επιμέρους μέρη:

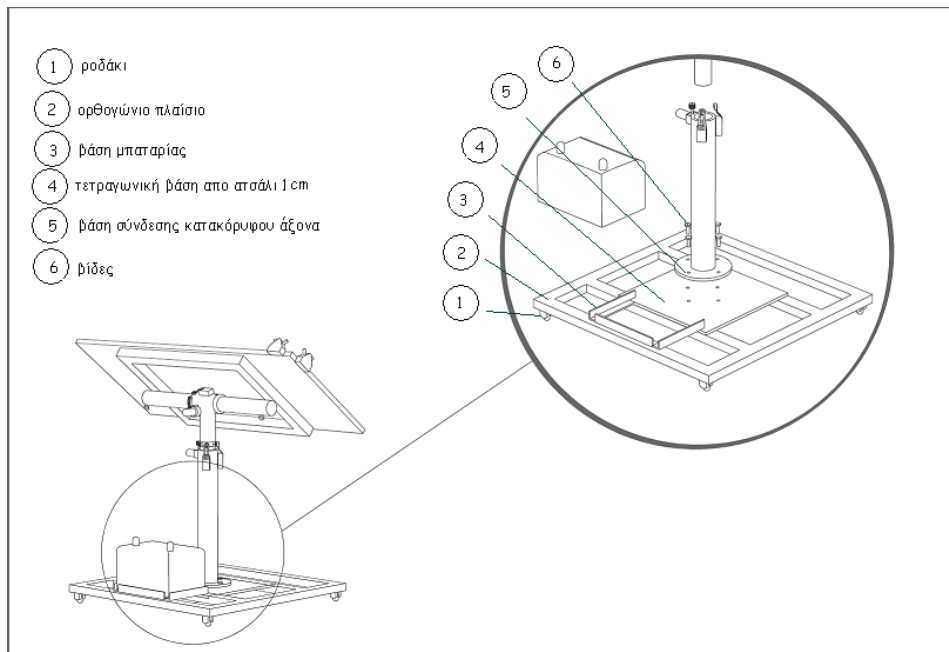
### 1.12. Η Βάση

Είναι ένα ορθογώνιο βαρύ μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων 80cm X 80cm X 5 cm . Στο εσωτερικό του πλαισίου, υπάρχουν δυο μεταλλικοί ράβδοι ορθογωνικής διατομής 5 cm X 3cm. Οι μεταλλικοί ράβδοι στηρίζουν μια συμπαγή λαμαρίνα από ατσάλι διαστάσεων 40 cm X 40 cm X 1cm. Η λαμαρίνα αυτή είναι από ατσάλι για να μπορεί να αντέχει το βάρος της κατασκευής. Φέρει οκτώ οπές ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί (βιδωθεί) ο κατακόρυφος άξονας. Η βάση έχει ειδική υποδοχή για τοποθέτηση τυπωμένου ηλεκτρονικού κυκλώματος. Το υλικό κατασκευής της υποδοχής, για τοποθέτηση του ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι πλαστικό, πάνω στο οποίο έχουν τοποθετηθεί τέσσερις προεξοχές, στις οποίες βιδώνεται το τυπωμένο κύκλωμα. Έτσι το ηλεκτρονικό κύκλωμα δεν έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα και προστατεύεται από τα βραχυκύκλωμα.

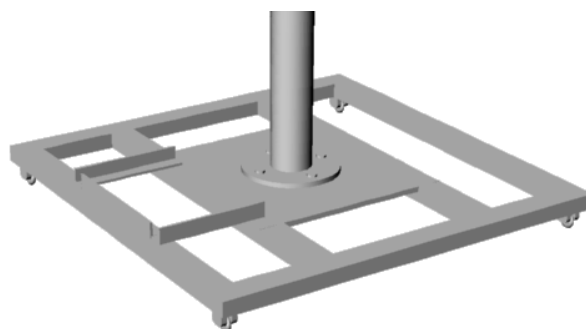
Επίσης, υπάρχουν ειδικές οπές ώστε να σταθεροποιείται ένας DC σε AC μετατροπέας για να μπορούν να δουλέψουν οι συσκευές εναλλασσομένου ρεύματος.

Ακόμη, υπάρχει ειδική υποδοχή για τοποθέτηση και σταθεροποίηση του συσσωρευτή, η βάση της μπαταρίας. Η βάση της μπαταρίας αποτελείται από μεταλλικές γωνίες, πάνω στην οποίες εφαρμόζουν οι δυο διαστάσεις της βάσης του συσσωρευτή. Η επιλογή της θέσης της βάσης της μπαταρίας έγινε έτσι ώστε να βρίσκεται κοντά στο ηλεκτρονικό σύστημα, αφού θα το τροφοδοτεί με ενέργεια.

Τέσσερις ροδες κατάλληλα προσαρμοσμένες εξασφαλίζουν την εύκολη πρόσβαση του συστήματος σε οποιαδήποτε χώρο επιθυμούμε. Οι ροδες αυτές έχουν ειδικό σύστημα μπλοκαρίσματος της ρόδας ώστε αυτή να σταθεροποιεί το σύστημα την ώρα λειτουργίας.



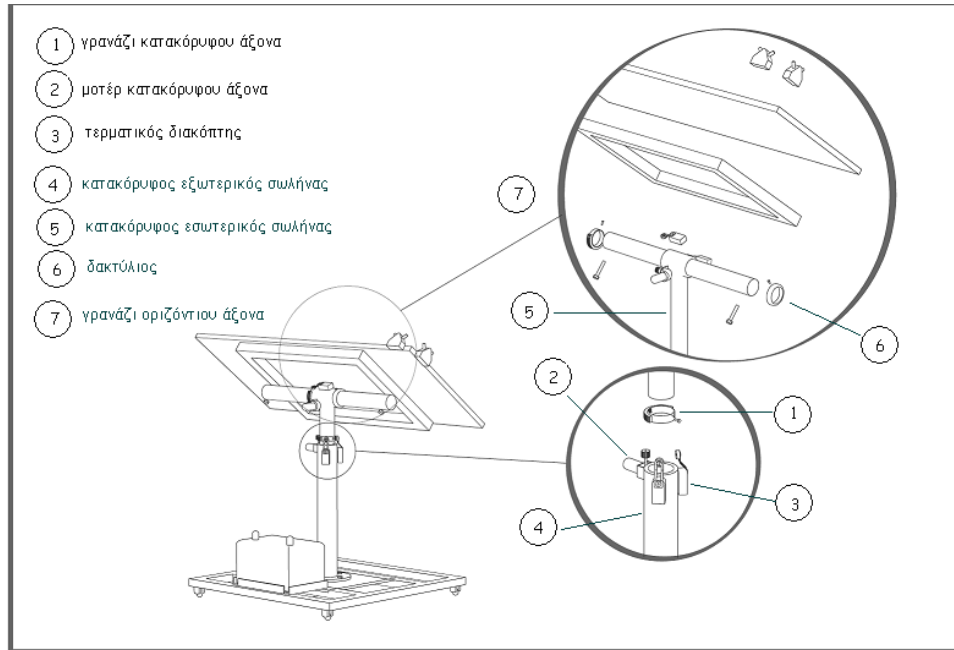
Εικόνα 30. Η Βάση



Εικόνα 31. 3D ανάπτυγμα βάσης

### 1.12.1 Το σύστημα του κατακόρυφου άξονα

Ο κατακόρυφος άξονας αποτελείται από δυο κατακόρυφους σωλήνες τον εξωτερικό και τον εσωτερικό σωλήνα. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι μεταλλικός μήκους 60cm με εξωτερική διάμετρο 80mm και εσωτερική διάμετρο 70mm Ο σωλήνας αυτός έχει τοποθετηθεί κάθετα στο μέσο της μεταλλικής βάσης. Ο σωλήνας είναι κενός ώστε στο εσωτερικό του να μπορεί να τοποθετηθεί ο εσωτερικός σωλήνας.



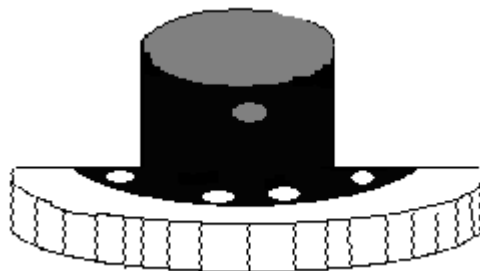
Εικόνα 32. Το σύστημα του κατακόρυφου άξονα

Ο εσωτερικός σωλήνας έχει μήκος 78 cm και εξωτερική διάμετρο 50 mm. Στο πάνω άκρο υπάρχει ένα προστατευτικό καπάκι διαμέτρου 90mm, το οποίο είναι συγκολλημένο στο εσωτερικό σωλήνα σε απόσταση 19 cm από την κορυφή. Η ύπαρξη του προστατευτικού καλύμματος είναι απαραίτητη για την προστασία του εξωτερικού κενού σωλήνα, παρεμποδίζοντας την διείσδυση βροχής και ακαθαρσίας στο εσωτερικό του. Επίσης στην προεξοχή του εσωτερικού σωλήνα έχει τοποθετηθεί η μικρή μεταλλική βάση πάνω στην οποία είναι τοποθετημένο το μεγάλο γρανάζι περιστροφής του κατακόρυφου άξονα. Στο πάνω άκρο του μικρού σωλήνα έχει τοποθετηθεί ένα οριζόντιο δακτυλίδι μήκους 10cm εξωτερικής διαμέτρου 6cm και εσωτερικής διαμέτρου 5cm. Στο δακτυλίδι αυτό θα περάσει ο σωλήνας του οριζόντιου άξονα. Πάνω στα δακτυλίδι αυτό είναι και η βάση τοποθέτησης του μοτέρ που είναι υπεύθυνο για την περιστροφή του οριζόντιου σωλήνα. Επίσης έχουν τοποθετηθεί και οι βάσεις των τερματικών διακοπών του οριζόντιου άξονα καθορίζοντας τα όρια της γωνίας αζιμούθιου.



Εικόνα 33. 3D ανάπτυγμα του κατακόρυφου άξονα

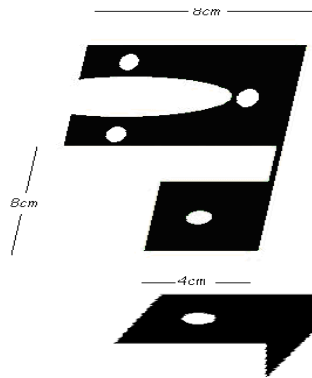
Στην υλοποίηση του συστήματος έγιναν κάποιες αλλαγές από το 3D ανάπτυγμα για να αντιμετωπιστούν κάποια προβλήματα εργονομικής ή κατασκευαστικής φύσεως. Για παράδειγμα τοποθετήθηκε άλλη βάση γραναζιού από ότι φαίνεται στο 3D ανάπτυγμα. Η βάση του μεγάλου γραναζιού έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος. Η διάμετρος του γραναζιού είναι 20cm και στηρίζεται σε κυκλικό δακτυλίδι εσωτερικής διαμέτρου 5cm και εξωτερικής 6cm. Στην κάτω άκρη του έχει τοποθετηθεί ένα ημικυκλικός δίσκος διαμέτρου 20cm και πάχους 3mm. Ο ημικυκλικός δίσκος φέρει 4 οπές. Οι οπές αυτές είναι απαραίτητες για να βιδωθεί το γρανάζι πάνω στη βάση του γραναζιού.



Εικόνα 34. Βάση του μεγάλου γραναζιού μαζί με το γρανάζι

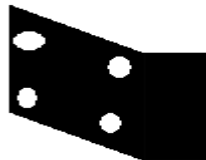
Επίσης το μοτέρ, αντί να συγκολληθεί με ηλεκτροσυγκόλληση, τελικά στηρίζεται σε ειδική διαμορφωμένη βάση. Η βάση αυτή στηρίζεται σε μια μεταλλική γωνία με πλευρές 9cm και 3cm πλάτους 5cm και πάχους 3mm. Στην μεγαλύτερη πλευρά της φέρει μια οπή ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί

πάνω της η ειδικά διαμορφωμένη βάση. Αυτή η μεταλλική γωνία έχει συγκολληθεί με ηλεκτροσυγκόλληση πάνω στον κατακόρυφο εξωτερικό σωλήνα. Η διαμορφωμένη βάση παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Στην πάνω επιφάνεια φέρει μια ημισφαιρική τομή ώστε να μπορεί να περάσει το μικρό γρανάζι του μοτέρ. Στην κάτω πλευρά φέρει επίσης μια οπή ώστε να μπορεί να περάσει η βίδα που την προσαρμόζει.

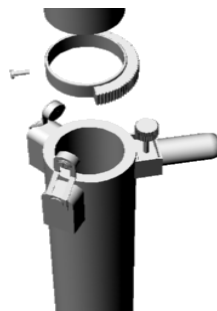


Εικόνα 35. Το σύστημα στήριξης του μοτέρ του οριζόντιου άξονα.

Επίσης στον εξωτερικό σωλήνα έχουν τοποθετηθεί, οι δυο βάσεις τοποθέτησης των τερματικών διακοπών. Οι βάσεις των τερματικών διακοπών είναι 2 μεταλλικές γωνίες με πλευρές 2 και 4 cm πλάτος και πάχος 3mm. Οι βάσεις αυτές είναι σταθερές και έχουν συγκολληθεί με ηλεκτροσυγκόλληση στον εξωτερική κατακόρυφο σωλήνα με την ελεύθερη ακμή της μικρής πλευράς της γωνιάς, Στην μεγάλη επιφάνεια φέρνουν 4 οπές. Οι τερματικοί διακόπτες βιδώνονται πάνω σε αυτές τις βάσεις,



Εικόνα 36. Βάση στήριξης του τερματικού διακόπτη

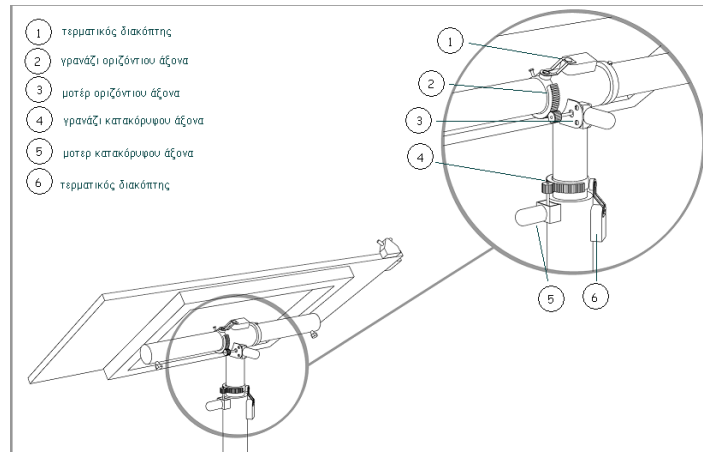


Εικόνα 37. 3D ανάπτυγμα που παρουσιάζονται οι γωνίες τοποθέτησης των τερματικών διακοπών καθώς και η θέση του μοτέρ

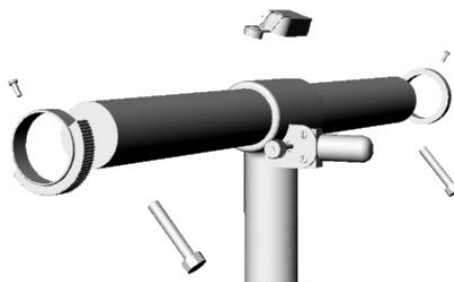


### 1.12.2. Το σύστημα του οριζόντιου άξονα

Ο οριζόντιος άξονας αποτελείται από ένα οριζόντιο σωλήνα μήκους 70cm και εσωτερικής διαμέτρου 5cm. Ο οριζόντιος άξονας καθώς περνάει από το οριζόντιο δακτυλίδι του εσωτερικού κατακόρυφου σωλήνα ασφαλιζει με δυο αυτόνομα δακτυλίδια εξωτερικής διαμέτρου 6cm και εσωτερικής διαμέτρου 5cm.



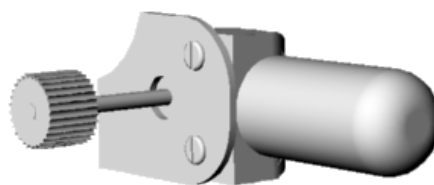
Εικόνα 38. Ο οριζόντιος σωλήνας



Εικόνα 39. 3D ανάπτυγμα οριζόντιου άξονα

Στο δεύτερο δακτυλίδι έχει τοποθετηθεί και μια βάση στήριξης του μεγάλου γραναζιού. Το μεγάλο οριζόντιο γρανάτζι βιδώνεται με βίδες πάνω στο ειδικό δακτυλίδι όπως το γρανάτζι του κατακόρυφου άξονα.

Επίσης έχει γίνει ειδική βάση για την τοποθέτηση του μοτέρ του οριζοντίου άξονα.



Εικόνα 40. Βάση του μοτέρ και το μοτέρ του οριζοντίου άξονα

### 1.12.3. Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου

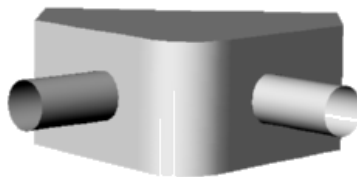
Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου βιδώνεται στον οριζόντιο σωλήνα με δυο βίδες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 41. Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου

### 1.12.4. Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων

Οι αισθητήρες τοποθετούνται στη παρακάτω διάταξη. Η διάταξη αυτή έχει 2 κυλινδρικούς σωλήνες, έναν για κάθε αισθητήρα, και επιτρέπουν τη διόδο του ηλιακού φωτός και επομένως την ενεργοποίηση των αισθητήρων.



Εικόνα 42. Ειδική διάταξη τοποθέτησης των φωτοαντιστάσεων.

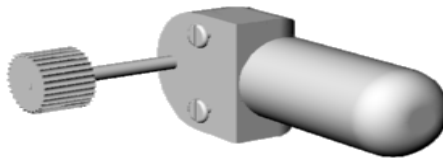
### 1.13. Το ηλεκτρολογικό τμήμα

Τα βασικά μέρη του ηλεκτρολογικού τμήματος είναι τα δυο μοτέρ μετάδοσης οριζόντιας και κατακόρυφης περιστροφής καθώς και οι τερματικοί διακόπτες. Τόσο η τροφοδοσία των μοτέρ όσο και των τερματικών διακόπτων γίνεται από τον ίδιο συσσωρευτή που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας. Ο συσσωρευτής παράγει συνεχή τάση 12 V.

#### Τα δυο μοτέρ

Τα δυο μοτέρ είναι απλής κατασκευής και είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των υαλοκαθαριστήρων των αυτοκινήτων. Η επιλογή τους, έγινε με βάση τη δύναμη τους και τη

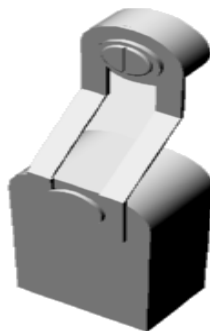
ταχύτητα περιστροφής. Τα μοτέρ που επιλέχθηκαν, είχαν μεγάλη δύναμη ώστε να περιστρέψουν μεγάλα φορτία και μικρή ταχύτητα περιστροφής για προστασία της φωτοβολταϊκής συστοιχίας από τις απότομες μεταβολές της έντασης του ηλιακού φωτός. Κάθε μοτέρ έχει στην άκρη του άξονα περιστροφής του, ένα μικρό γρανάζι το οποίο και το περιστρέφει. Το μικρό αυτό γρανάζι εφαρμόζει σε ένα άλλο μεγάλο γρανάζι που είναι στερεωμένο σε μια βάση που βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής. Η περιστροφή του μικρού γραναζιού από το μοτέρ, περιστρέφει το μεγάλο γρανάζι του αντίστοιχου άξονα περιστροφής, και άρα την Φ/Β συστοιχία.



Εικόνα 43. Το μοτέρ

#### **Οι τέσσερις τερματικοί διακόπτες**

Οι διακόπτες αυτοί, τοποθετημένοι σε κατάλληλες μεταλλικές βάσεις καθορίζουν τα όρια της οριζόντιας και κατακόρυφης περιστροφής. Ουσιαστικά καθορίζουν τα όρια που παίρνει η αζιμούθια γωνία και η γωνία κλίσης. Υπάρχει η δυνατότητα, χειροκίνητης ρύθμισης των γωνιών που επιθυμούμε να περιστραφεί το πλαίσιο, σε κάθε άξονα. Σκοπός τους είναι να διακόπτουν την περιστροφή, όταν η γωνία περιστροφής περάσει τα όρια που θέτουμε. Για παράδειγμα η αζιμούθια γωνία δεν χρειάζεται να είναι πάνω από  $180^{\circ}$ , αφού το βράδυ δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, ενώ η γωνία κλίσης δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από  $47^{\circ}$  μοίρες, αφού η Φ/Β συστοιχία θα στραφεί προς τα κάτω.



Εικόνα 44. Ο τερματικός διακόπτης

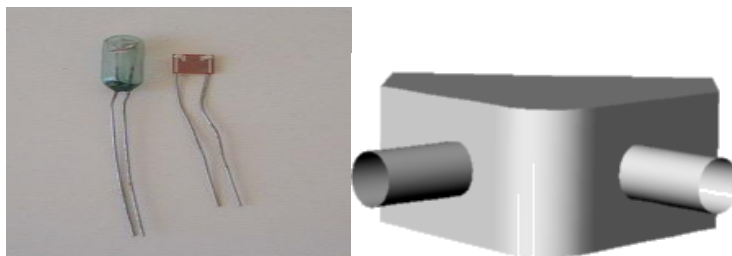
### **1.14. Το ηλεκτρονικό τμήμα**

Το ηλεκτρονικό τμήμα αποτελείται από τους αισθητήρες του φωτός και το ηλεκτρονικό κύκλωμα.

#### **Οι αισθητήρες του φωτός**

Οι αισθητήρες είναι δύο φωτοαντιστάτες που μεταβάλουν την αντίστασή τους ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία. Οι αισθητήρες βρίσκονται μέσα σε μια ειδική διάταξη, ώστε να σχηματίζουν γωνία μεταξύ τους. Η γωνία αυτή είναι απαραίτητη ώστε, όταν ο ήλιος μετακινηθεί, να ανιχνευτεί η κίνησή του. Όσο πιο μικρή είναι η γωνία τόσο πιο ευαίσθητες είναι οι φωτοαντιστάτες. Επίσης, σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση παίζει και το μήκος του σωλήνα που τις περιέχει. Μικρό μήκος σημαίνει λιγότερη ευαισθησία.

Το σύστημα έχει δυο ειδικές διατάξεις, μια για κάθε άξονα περιστροφής, και είναι τοποθετημένες στην πάνω αριστερή γωνία της Φ/Β συστοιχίας, σχηματίζοντας ορθή γωνία μεταξύ τους. Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 6.3, η οριζόντια διάταξη ανιχνεύει τη ημερήσια πορεία του ήλιου και δίνει εντολή για περιστροφή του κατακόρυφου άξονα. Η κατακόρυφη διάταξη ανιχνεύει την εποχιακή μεταβολή του ηλίου και δίνει εντολή για περιστροφή του οριζοντίου άξονα.



*Εικόνα 45. Οι φωτοαντιστάσεις και η ειδική διάταξη που είναι τοποθετημένες*

#### **Το ηλεκτρονικό κύκλωμα**

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα είναι το μυαλό του συστήματος. Η φιλοσοφία του είναι απλή. Για την κίνηση σε κάθε άξονα χρησιμοποιείται το παραπάνω ζευγάρι αισθητήρων που ανιχνεύουν το φως. Κάθε μια φωτοαντίσταση συνδέεται με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (LM324) που εργάζεται σαν συγκριτής παραθύρου. Όταν το φως στις φωτοαντιστάσεις είναι ίδιο, τότε η έξοδος του συγκριτή είναι

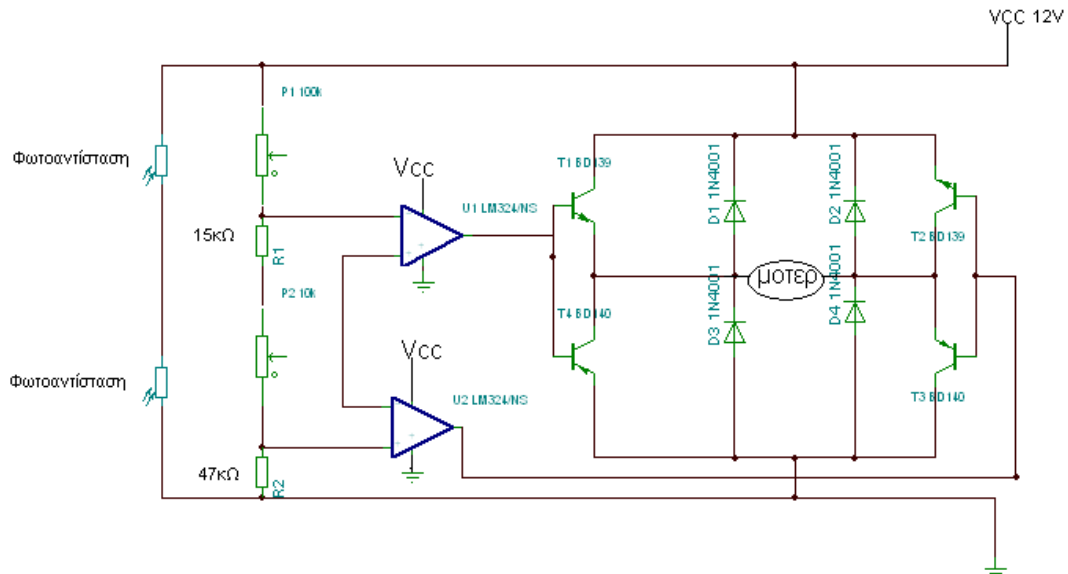
μηδέν και κρατάει τον αντίστοιχο μοτέρ σε κατάσταση αναμονής.

Όταν αλλάξει η θέση του ήλιου, οι φωτοαντιστάσεις μεταβάλουν την αντίσταση τους, με αποτέλεσμα στη έξοδο του συγκριτή να εμφανίζεται μια τάση που είναι θετική ή αρνητική με αποτέλεσμα, να δίνει στο μοτέρ, την αντίστοιχη εντολή για αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη περιστροφή.

Οι δίοδοι D1 ως D4 καταπνίγουν ότι αιχμές τάσης παράγονται, από την λειτουργία του κινητήρα και προστατεύουν τον συγκριτή από την αυξομείωση της τάσης. Τα ρυθμιστικά ποτενσιόμετρα P1 και P2 χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση της σκόπησης του συστήματος. Ρυθμίζονται δηλαδή έτσι ώστε ο κινητήρας (μοτέρ) να ηρεμεί όταν και οι δυο φωτοαντιστάσεις δέχονται ακριβώς τον ίδιο φωτισμό.

Τα τρανζίστορ T1 ως T4 είναι σε διάταξη γέφυρας και είναι αυτά, που οδηγούν ομαλά τα μοτέρ για δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη κίνηση. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να πάρουν το κατάλληλο σήμα στην βάση τους, από την έξοδο του συγκριτή.

Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί ειδικά μικρορελέ 12V, όση και η τάση της μπαταρίας. Τα μικρορελέ είναι απαραίτητα για να οδηγήσουν τους κινητήρες, μιας και η τάση που βγάζει η έξοδος του συγκριτή, 10V, δεν είναι ικανή να τους ενεργοποιήσει. Ουσιαστικά η έξοδος του ολοκληρωμένου κυκλώματος οδηγεί τα μικρορελέ και αυτά με τη σειρά τους, τα δυο μοτέρ, χρησιμοποιώντας την τάση της μπαταρίας 12V για την τροφοδοσία των κινητήρων.



Εικόνα 46. Το θεωρητικό ηλεκτρικό κύκλωμα.

Στο ηλεκτρονικό κύκλωμα έχει τοποθετηθεί και ένας διακόπτης που ενεργοποιεί ή διακόπτει την λειτουργία του συστήματος σκόπευσης του ήλιου. Επίσης η όλη τροφοδοσία του ηλεκτρονικού κυκλώματος γίνεται από τον ίδιο συσσωρευτή αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα το όλο σύστημα να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα.

Η υλοποίηση του κυκλώματος έγινε σε ηλεκτρονική πλακέτα και το κύκλωμα έχει τοποθετηθεί σε προστατευτικό κάλυμμα. Το προστατευτικό κάλυμμα έχει βιδωθεί πάνω στη βάση του συστήματος παρακολούθησης.

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που υλοποιούν το πραγματικό κύκλωμα είναι:

Τρανζίστορ T1, T3 :BD239

Τρανζίστορ T2, T4 :BD 240

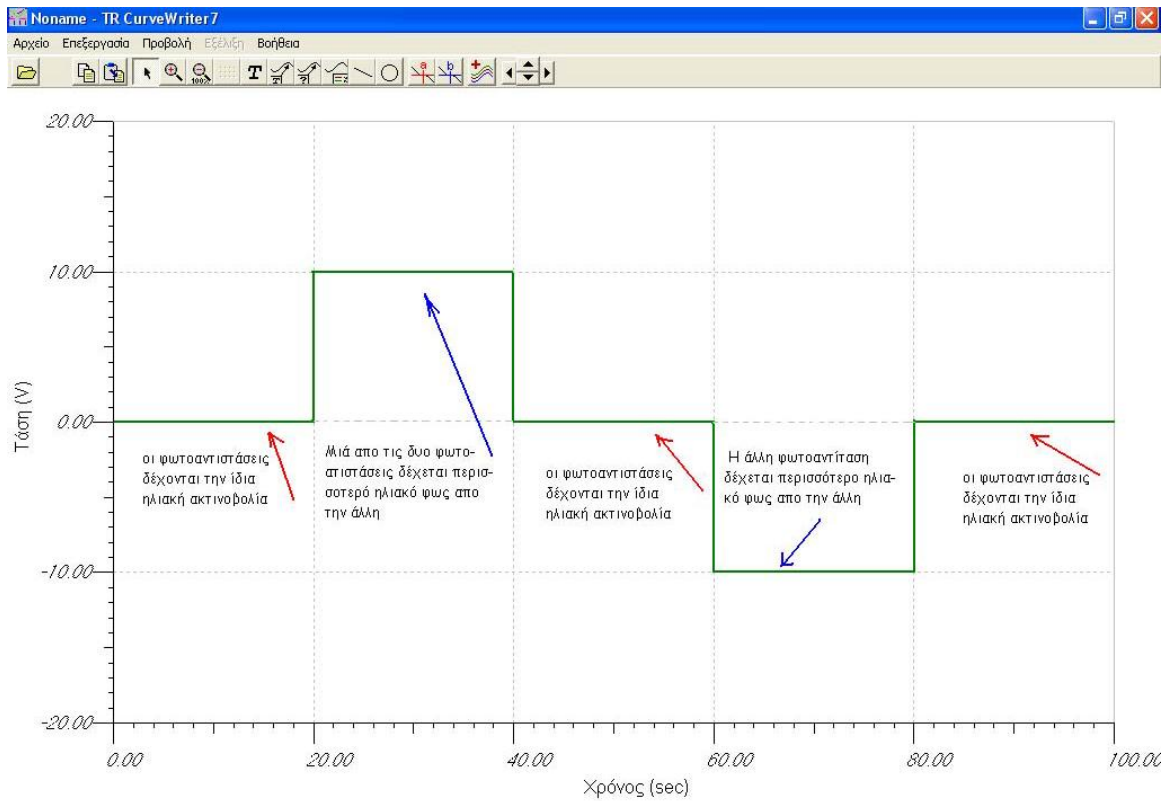
Συγκριτής : ολοκληρωμένο κύκλωμα: ALM 324 N

Δίοδοι D1,D2,D3,D4 : IN4001

Φωτοαντιστάσεις

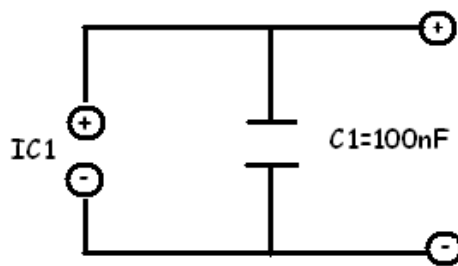
Μικροελέ 12V

Η προσομοίωση του θεωρητικού κυκλώματος έγινε στο εξειδικευμένο λογισμικό Tina Pro. Η έξοδος του κυκλώματος δηλαδή η τάση που θα οδηγήσει τα μοτέρ για διάφορες καταστάσεις των φωτοαντιστάσεων παρουσιάζεται παρακάτω. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιβεβαιώνουν τη ορθότητα της λειτουργίας του ηλεκτρονικού κυκλώματος.



Εικόνα 47. Η έξοδος του κυκλώματος μετά από προσομοίωση.

Τέλος μεταξύ της θετικής και αρνητικής τάσης τροφοδοσίας έχει τοποθετηθεί ειδικό φίλτρο που να καταπνίγει τα παρασιτικά σήματα.

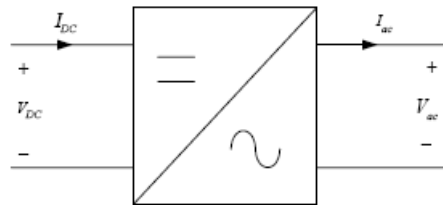


Εικόνα 48. Φίλτρο προστασίας από παρασιτικές συμπεριφορές

## 1.15. Μετατροπείς

### 1.15.1. Βασικοί ορισμοί – Σύμβολο

Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φ/Β συστοιχία, απαιτεί την παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων. Οι αντιστροφείς (ή μετατροπείς ή Inverters) αποτελούν τη βασικότερη ηλεκτρονική διάταξη μιας ολοκληρωμένης Φ/Β εγκατάστασης, καθώς είναι το ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει τη συνεχή τάση της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση (μονοφασική ή τριφασική). Στην Εικόνα 49 παρουσιάζεται το τυπικό σύμβολο του αντιστροφέα μαζί με τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά.



Εικόνα 49: Σύμβολο αντιστροφέα

Μέσα στην ίδια διάταξη του αντιστροφέα μπορεί να περιέχεται και μετασχηματιστής ο οποίος στόχο έχει την προσαρμογή της τάσης εξόδου του ( $V_{out}$ ) στα επίπεδα της επιθυμητής ονομαστικής τάσης του δικτύου (π.χ.  $\sim 230/400V$ ). Επίσης, όπως περιγράφεται και στη συνέχεια, στους αντιστροφείς για Φ/Β, είναι δυνατόν να περιλαμβάνεται διάταξη ανίχνευσης της μέγιστης παραγωγής από την πηγή (M.P.P.T.). Παρόλα αυτά οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται στις ΑΠΕ είναι οι εξής: Φ/Β συστήματα με μετατροπείς:

- 1) Sunny Island : Για αυτόνομα Φ/Β συστήματα σε συνδυασμό με συσσωρευτές
  - 2) Sunny Central: Για μεγάλους διασυνδεδεμένους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού από Φ/Β Πάρκα
  - 3) Sunny Boy: Για εγκαταστάσεις μικρής ισχύος, κυρίως οικιακές εφαρμογές
  - 4) Sunny Mini Central: Για εγκαταστάσεις μεσαίας ισχύος (5-11 kW)
  - 5) Sunny Tripower: Για τριφασικούς μετατροπείς
  - 6) Sunny Backup: Για εφαρμογές παροχής εφεδρείας από Φ/Β.
- Κυψέλες Καυσίμου με μετατροπέα Hydro Boy.
  - Μικρές Α/Γ που παράγουν ισχύ απευθείας σε DC με μετατροπέα Windy Boy.
  - Σε μεγάλες Α/Γ σε κατάλληλους μετατροπείς για τη ρύθμιση της ισχύος μέσω μετατροπέων δικτύου για φιλικότερη λειτουργία.



- Σε διατάξεις μπαταριών για την παροχή της αποθηκευμένης ενέργειας προς το δίκτυο.

Θα πρέπει να αναφερθεί ακόμα ότι περισσότεροι αντιστροφείς της αγοράς είναι εξοπλισμένοι με συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των 66 Φωτοβολταϊκά και επιπτώσεις στο Δίκτυο δεδομένων και της δυνατότητα επικοινωνίας ώστε να καταστεί δυνατή η τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β Σταθμού. Ειδικά στην απομακρυσμένη παρακολούθηση, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αντιστρώφων δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης μέσω διαδικτύου από αντίστοιχες ιστοσελίδες, ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της λειτουργίας από απόσταση και η αναφορά των ενδεχόμενων σφαλμάτων. Μία τέτοια ιστοσελίδα που δίνει την δυνατότητα αυτή είναι η εξής: [www.sunnyportal.com](http://www.sunnyportal.com).

Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή τους απόδοση (ακόμα και σε χαμηλή ισχύ εισόδου), το μεγάλο εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας (-25°C έως +60°C), και ο υψηλός βαθμός προστασίας τους από σκόνη και υγρασία (τυπική τιμή: IP65). Κατά την τοποθέτηση των αντιστρώφων είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ο επαρκής αερισμός τους. Συγκεκριμένα, γύρω από τη συσκευή πρέπει να υπάρχουν αποστάσεις 300mm-500mm και, αν απαιτείται, χρήση τεχνητού εξαερισμού.

#### 1.15.2. Διάκριση μετατροπών

Οι αντίστροφης σύμφωνα με το επίπεδο και είδος της τάσης που παράγουν, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

##### 1. Αντίστροφης ανάλογα τον αριθμό της φασικής τους παροχής. Διακρίνονται σε :

- **Αντιστροφείς μίας φάσης (μονοφασικοί αντίστροφης).**

Στις εφαρμογές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αντίστροφης πλήρους γέφυρας. Τα τυπικά μεγέθη ισχύος σε Φ/Β εφαρμογές για τους μονοφασικούς αντίστροφης, κυμαίνονται από 10kW-11kW.

- **Αντιστροφείς τριών φάσεων (τριφασικοί αντίστροφης).**

Οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Τα τυπικά μεγέθη ισχύος σε Φ/Β εφαρμογές για τους τριφασικούς αντίστροφης μπορεί να κυμαίνονται από 6 kW-7kW έως και 1MW. Για Φ/Β εγκαταστάσεις μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, υπάρχουν κεντρικοί αντίστροφης με δυνατότητα διασύνδεσης απευθείας στο επίπεδο της MT του δικτύου.

### Αντίστροφης ανάλογα με το τύπο διαμόρφωσης των παλμών τους στην έξοδο.

Ο αντιστροφέας, στη βασική του μορφή αποτελείται από κατάλληλη διάταξη ηλεκτρονικών διακοπών (ημιαγωγικών διακοπών) η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων. Επιπρόσθετα, μια βελτιωμένη έκδοση των αντιστροφέων είναι αυτή που στην έξοδο του παράγει τάση που έχει τη μορφή διαμορφωμένου ημιτόνου. Πιο συγκεκριμένα, η κυματομορφή της τάσης που παράγεται μέσω του αντιστροφέα, πρέπει να διαμορφώνεται κατάλληλα από τους παλμούς των ημιαγωγικών διακοπών, ούτως ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε ημιτονοειδής κυματομορφή. Αυτό, επιτυγχάνεται μέσω των διαφόρων τεχνικών που εφαρμόζονται για τη διαμόρφωση των παλμών, του αντιστροφέα. Επομένως, οι αντιστροφείς διαχωρίζονται σε:

- Αντιστροφείς με διαμόρφωση τετραγωνικών παλμών
- Αντιστροφείς με διαμόρφωση του εύρους των παλμών (PWM).
- Αντιστροφείς με ημιτονοειδής διαμόρφωση του εύρους των παλμών (SPWM).

Οι τετραγωνικού παλμού είναι οι πιο απλοί αλλά η έξοδός τους έχει πολλές αρμονικές που είναι επιβλαβείς για τις ηλεκτρικές συσκευές. Έτσι χρησιμοποιούνται σε πολύ απλές κατασκευές για μικρή ισχύ και για «αναίσιθτα» φορτία όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης κάποιο μικρό θερμικό φορτίο κ.λπ. Έτσι η μέθοδος που εφαρμόζεται περισσότερο σε διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα, είναι αυτή της ημιτονοειδούς διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (SPWM). Με τη συγκεκριμένη τεχνική διαμόρφωσης, επιτυγχάνεται μέσω του αντιστροφέα η παραγωγή μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής εξόδου στα επιθυμητά χαρακτηριστικά του δικτύου.



Εικόνα 50: Διάκριση αντιστροφέων

#### 1.15.3. Αδρά Βήματα Επιλογής Του Κατάλληλου αντιστροφέα

Τα βήματα επιλογής του κατάλληλου αντιστροφέα είναι τα ακόλουθα:

1. Επιλέγεται το είδος της πηγής που πρόκειται να συνδεθεί (Μπαταρία, Φ/Β, Κυψέλη Καυσίμου ή Α/Γ). Συνήθως μία εταιρία έχει διαφορετικά μοντέλα για το κάθε ένα. Μάλιστα μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για Φ/Β πυριτίου και για Φ/Β λεπτού υμενίου.

2. Επιλέγονται ανάλογα με το είδος της εφαρμογή, δηλαδή για διασυνδεδεμένη με το δίκτυο ή αυτόνομη εφαρμογή.
3. Υπολογίζεται αν απαιτείται από την εφαρμογή μονοφασικός ή τριφασικός μετατροπέας.
4. Υπολογίζεται αν υπάρχει απαίτηση ενιαίου συστήματος για τις στοιχειό-σειρές.
5. Υπολογίζεται ο αριθμός των στοιχειό-σειρών που πρόκειται εγκατασταθούν (για να υπολογιστεί η τάση του μετατροπέα και ο αριθμός για παράδειγμα των Φ/Β πλαισίων)
6. Η εφαρμογή μου απαιτείται (από το διαχειριστή του δικτύου) για διόρθωση του συντελεστή ισχύος. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται περισσότερο σε μεγάλους διασυνδεδεμένους Φ/Β Σταθμούς.

#### 1.15.4. Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα

Βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εξόδου (AC) προς την ισχύ εισόδου (DC) του αντιστροφέα και εξαρτάται από την ισχύ και την τάση λειτουργίας του. Εκτός από το μέγιστο βαθμό απόδοσης, σε έναν αντιστροφέα ορίζεται και ο Ευρωπαϊκός διαβαθμισμένος βαθμός απόδοσης, που αξιολογεί τη συμπεριφορά ενός αντιστροφέα σε διάφορα συγκεκριμένα σημεία της καμπύλης απόδοσής του σύμφωνα με τη σχέση

$$n_{\text{euro}} = 0.03\% n_{5\%P_n} + 0.06n_{10\%P_n} + 0.13n_{20\%P_n} + 0.10n_{30\%P_n} + 0.48n_{50\%P_n} + 0.20n_{100\%P_n}$$

Η τιμή του συντελεστή αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση δύο αντιστροφέων.

Οι συνηθισμένες τιμές πλέον υπερβαίνουν το 90% και σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερων μετατροπέων αγγίζουν το 97%-98%. Γενικά συνίσταται το μέγεθος του αντιστροφέα να είναι στο 95-110% της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β. Η υπό-λειτουργία του θα οδηγεί σε χαμηλό βαθμό απόδοσης ενώ η πολύ χαμηλή ισχύς σε σχέση με την εγκαταστημένη ισχύ του Φ/Β θα οδηγεί σε μη εκμετάλλευση της παραγωγής του Φ/Β.

#### 1.15.5. Αντιστροφέας για Φ/Β Συστήματα

*Οι αντιστροφείς για Φ/Β συστήματα μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε:*

- Απλοί μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ. Αυτοί οι αντιστροφείς είναι οικονομικοί, αξιόπιστοι, βελτιστοποιούν ενιαία όλα τα Φ/Β και απαιτούν κοινή ονομαστική ισχύ εξόδου.

- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ. Εκτός από αυτά που ισχύουν για τους απλούς μονοφασικούς αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ, οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ απαιτούν υψηλή τάση εισόδου και δίνουν τη δυνατότητα γαλβανικής απομόνωσης.
- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας. Οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας είναι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση.
- Αντιστροφείς με δυνατότητα διαφορετικής ισχύος και τάσης εισόδου ανά στοιχείο-σειρά (multi-string). Οι αντιστροφείς multi-string επιτρέπουν τη σύνδεση στοιχείο-σειρών με διαφορετικό πλήθος Φ/Β, τη βελτιστοποίηση παραγωγής ανά στοιχείο-σειρά περιορίζοντας τις επιπτώσεις σκίασης, και την επεκτασιμότητα μίας από τις σειρές και έχουν υψηλή απόδοση.
- Αντιστροφείς ειδικά για συνεργασία με Φ/Β λεπτού υμενίου (thin film). Επιτρέπουν αυξημένη τάση.
- Τριφασικοί αντιστροφείς για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (άνω των 10 kW).
- Αντιστροφείς με τη δυνατότητα παροχής αέργου ισχύος προς το δίκτυο. 70 Φωτοβολταϊκά και επιπτώσεις στο Δίκτυο
- Κεντρικοί Αντιστροφείς για Φ/Β για μεγάλους Φ/Β Σταθμούς (ακόμη και για σύνδεση στη μέση τάση).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ο κύριος λόγος της χρήσης του Μ/Σ σε αντιστροφείς Φ/Β συστημάτων γίνεται, ώστε να επιτυγχάνεται η ηλεκτρική απομόνωση, της πλευράς της συνεχούς τάσης που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία στην είσοδο του αντιστροφέα, με την πλευρά της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου του αντιστροφέα, που οδηγείτε προς το ηλεκτρικό δίκτυο. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται και ως γαλβανική απομόνωση ανάμεσα στην DC είσοδο και στην AC έξοδο του αντιστροφέα.

## 2. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, σε αντίθεση με τους επίπεδους, χρησιμοποιούνται κυρίως όταν επιθυμείται υψηλότερη θερμική απόδοση, όταν υπάρχουν υψηλότερα θερμικά φορτία και όπου υπάρχουν περιορισμοί στη διαθέσιμη περιοχή εγκατάστασης συλλεκτών, εξαιτίας του γεγονότος ότι παράγουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας του συλλέκτη.

Η παραγωγή υψηλότερων θερμοκρασιών έγκειται στη χρήση ενός συγκεντρωτικού ανακλαστή, ο οποίος κατευθύνει την ηλιακή ακτινοβολία από μια μεγάλη επιφάνεια σε έναν μικρότερο δέκτη και στην απορροφητική επιφάνεια. Ένα εργαζόμενο μέσο αντλείται διαμέσω του απορροφητή,

όπου και θερμαίνεται, και από εκεί κατευθύνεται στο αποθηκευτικό σύστημα ή χρησιμοποιείται απευθείας για θέρμανση.

Ευνοϊκές συνθήκες για τη λειτουργία ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, σε αντίθεση με την ύπαρξη διάχυτης ακτινοβολίας η οποία έχει αρνητική επίδραση στην απόδοσή του. Άλλες παράμετροι που καθορίζουν την μέγιστη απόδοση του συλλέκτη αποτελούν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το μέγεθος του ανακλαστή, τα χαρακτηριστικά του απορροφητή, καθώς επίσης και το εργαζόμενο μέσο.

Ένα σύστημα συγκεντρωτικού συλλέκτη μπορεί να έχει είτε ένα σταθερό είτε ένα κινητό συλλέκτη. Στην πρώτη περίπτωση, ο ανακλαστής και ο απορροφητής βρίσκονται σε μια προκαθορισμένη θέση, η οποία είναι συνήθως προσανατολισμένη προς τον νότο. Για την μεγιστοποίηση της αποθηκευόμενης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη, χρησιμοποιούνται συσκευές εντοπισμού, οι οποίες αλλάζουν τη θέση του ανακλαστή και του δέκτη. Στην περίπτωση κινητού συλλέκτη, αυτός μπορεί να είναι είτε μονού είτε διπλού άξονα. Οι συσκευές εντοπισμού μονού άξονα μετακινούν τον συλλέκτη από ανατολή σε δύση ή από βορρά σε νότο, ενώ αυτές του διπλού άξονα επιτυγχάνουν μετακίνηση προς όλους τους άξονες. Το γεγονός αυτό τις καθιστά ικανές για την απορρόφηση της μέγιστης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας, οπότε και μέγιστων θερμοκρασιών, όφελος που αντισταθμίζεται από την πολύπλοκη κατασκευή τους και το μεγάλο κόστος.

## **ΕΙΔΗ**

### **➤ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟ ΚΑΤΟΠΤΡΟ**

Το πιο διαδεδομένο είδος συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι το παραβολικό κάτοπτρο. Τα κάτοπτρα σχήματος U, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα γραμμικό σωληνοειδή δέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος παράλληλα με την εστιακή γραμμή του κατόπτρου. Ο δέκτης μπορεί να βρίσκεται στο εσωτερικό ενός διάφανου, γυάλινου σωλήνα έτσι ώστε να μειώνονται οι απώλειες από τον απορροφητή.

Συνήθως περιλαμβάνουν σύστημα εντοπισμού του ήλιου μονού άξονα, με κατεύθυνση βορρά – νότου. Η θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξης των 400οC, ενώ η θερμική απόδοση μεταξύ 60 – 80%.

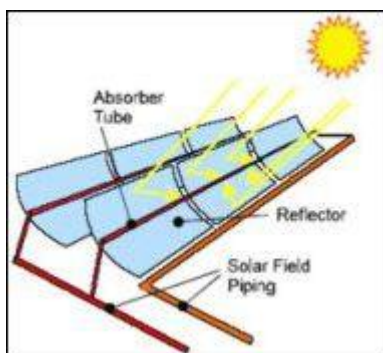
### ➤ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟ ΠΙΑΤΟ

Ένα διαφορετικό είδος συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι το παραβολικό πιάτο. Εκ πρώτης όψης, παρομοιάζεται με ένα τεράστιο δορυφορικό πιάτο με τη διαφορά ότι αποτελείται από ανακλαστές τύπου καθρέπτη και απορροφητή στο εστιακό σημείο. Το παραβολικό πιάτο χρησιμοποιεί συστήματα διπλού άξονα για να ακολουθεί τον ήλιο και να συλλέγει τις ακτίνες του στο δέκτη που βρίσκεται στο εστιακό σημείο μπροστά από το πιάτο. Σε μερικά συστήματα, μια μηχανή, όπως Stirling, συνδέεται με το δέκτη για την παραγωγή ενέργειας. Τα παραβολικά πιάτα μπορούν να φτάσουν θερμοκρασία δέκτη έως και 1000 °C και επιτυγχάνουν τους μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό.

### ➤ ΠΥΡΓΟΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΗΛΙΟΣΤΑΤΗΣ)

Ένας πύργος ισχύος αποτελείται από πολυάριθμους και μετακινούμενους καθρέπτες (ηλιοστάτες) για την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη που βρίσκεται στην κορυφή του πύργου. Το εργαζόμενο μέσο θερμαίνεται στο δέκτη, οπότε και παράγει ατμό και στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό σύστημα τουρμπίνας – γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Για την ευθυγράμμιση των καθρεπτών χρησιμοποιείται υπολογιστής, έτσι ώστε οι ανακλώμενες ακτίνες του ηλίου να στοχεύουν πάντα στον δέκτη, όπου επιτυγχάνεται θερμοκρασία πάνω από 1000οC.

### ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ



Σχήμα 1  
Παραβολικό κάτοπτρο



Σχήμα 2  
Παραβολικό κάτοπτρο

Υπάρχουν δύο βασικά είδη παραβολικών κατόπτρων: τα παραβολικά κάτοπτρα σχήματος σκάφης και οι κυρτοί σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες (CPC).

## **2.1. Παραβολικά κάτοπτρα σχήματος σκάφης**

Το παραβολικό κάτοπτρο σχήματος σκάφης αποτελείται από παραβολικούς ανακλαστήρες (συνήθως είναι επικαλυμμένοι με αλουμίνιο), οι οποίοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωλήνα, ο οποίος διατρέχει κατά μήκος το εστιακό σημείο του ανακλαστή. Εξαιτίας του παραβολικού του σχήματος, το κάτοπτρο μπορεί να συγκεντρώσει την ακτινοβολία κατά 30 με 60 φορές περισσότερο σε σχέση με την κανονική έντασή της. Το κάτοπτρο είναι συνήθως προσανατολισμένο κατά τη βόρεια – νότια κατεύθυνση και περιστρέφεται έτσι ώστε να ακολουθεί τον ήλιο κάθε μέρα. Εναλλακτικά, μπορεί να προσανατολιστεί κατά την ανατολική – δυτική κατεύθυνση, μέτρο το οποίο αν και ελαττώνει τη συνολική απόδοση του συλλέκτη δεν απαιτεί την καθημερινή περιστροφή του, αλλά περιορίζεται σε εποχιακές ρυθμίσεις. Το εργαζόμενο μέσο, συνήθως λάδι, διατρέχει τον σωλήνα για να απορροφήσει την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία και εν συνεχεία χρησιμοποιείται για την θέρμανση ατμού και την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, υψηλής πίεσης. Ο ατμός αυτός οδηγείται στο σύστημα τουρμπίνας – γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ ο ατμός που διέφυγε, συμπυκνώνεται και επιστρέφει στους εναλλάκτες θερμότητας για να ξαναγίνει ατμός. Η θερμική απόδοση της μεθόδου ποικίλλει από 60 – 80%.

Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση των κατόπτρων αυτών για την κατασκευή ηλιακών πάρκων, ενώ τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία κατασκευής τους..

### **2.1.1 Ηλιακά πάρκα**

Για την κατασκευή των ηλιακών πάρκων έχουν αναπτυχθεί τρία διαφορετικά είδη συλλεκτών:

- Το σύστημα Luz
- Το σύστημα EuroTrough
- Το σύστημα Solargenix

Το σύστημα Luz αποτελεί πρότυπο σύστημα, για την κατασκευή του οποίου απαιτείται γαλβανισμένος χάλυβας. Υπάρχουν δύο τύποι για αυτή την κατηγορία, ο LS-2 και ο LS-3. Ο LS-2 συλλέκτης αποτελείται από έξι σωλήνες δομής στροφορμής (τρεις από κάθε πλευρά), οι οποίοι παρέχουν ακαμψία σε στρέψη και οι οποίοι είναι εύκολο να συναρμολογηθούν. Παρόλ' αυτά, οι σωλήνες αυτού του τύπου απαιτούν πολύ χάλυβα γεγονός που οδήγησε στη σχεδίαση των συλλεκτών LS-3. Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούν δοκούς ενίσχυσης στη θέση των σωλήνων στροφορμής, αποτέλεσμα του οποίου είναι να μειώνεται το κόστος κατασκευής τους.

Απόγονος των συστημάτων Luz υπήρξαν τα συστήματα EuroTrough, τα οποία σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των Luz-2 και Luz-3. Οι EuroTrough συλλέκτες χρησιμοποιούν κουτί στροφορμής έτσι ώστε αυτό να παρέχει την ακαμψία σε στροφορμή καθώς επίσης και την χαμηλότερη ποσότητα απαιτούμενου χάλυβα. Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του SEGS V. Στις μέρες μας, η αιχμή της τεχνολογίας είναι οι συλλέκτες Solargenix. Είναι κατασκευασμένοι από εξελασμένο αλουμίνιο και χρησιμοποιούν μια μοναδική δομή που στηρίζεται στην αρχή της πλήμνης και η οποία αρχικά χρησιμοποιούταν για κτίρια και γέφυρες. Ο καινούργιος σχεδιασμός υπερισχύει των προαναφερθέντων στο ότι ζυγίζει λιγότερο από τον χάλυβα, απαιτεί λιγότερους συνδέσμους, συναρμολογείται εύκολα και δεν απαιτεί ραφή συγκόλλησης ούτε ευθυγράμμιση πεδίου. Οι συλλέκτες Solargenix έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του Nevada Solar One.



Σχήμα 3 Συλλέκτες στο ηλιακό πάρκο Nevada Solar One

Τα ηλιακά πάρκα αποτελούνται από πολλά παραβολικά κάτοπτρα διατεταγμένα παράλληλα. Το πρώτο πάρκο που κατασκευάστηκε είναι αυτό της Καλιφόρνιας. Δημιουργήθηκε το 1985 και είναι γνωστό με την ονομασία SEGS. Είναι το μεγαλύτερο εν λειτουργία πάρκο, αφού αποτελείται από εννιά επί μέρους πάρκα συνολικής ισχύος 354MW. Ένα νεότερο πάρκο είναι το Nevada Solar One. Αποτελείται από 760 παραβολικά κάτοπτρα και παράγει ισχύ ίση με 64MW, η οποία το καθιστά το τρίτο μεγαλύτερο ηλιακό πάρκο. Δύο μικρότερα πάρκα βρίσκονται στην Αίγυπτο και στην Αλγερία ισχύος 40 και 25MW αντίστοιχα. Το πρώτο ηλιακό πάρκο της Ευρώπης είναι το Andasol 1, ισχύος 50 MW το οποίο βρίσκεται στην Ανδαλουσία της Ισπανίας και το οποίο λειτουργεί από μέσα του 2008. Κατά την ίδια χρονική περίοδο αναμένεται να λειτουργήσει επίσης και το ηλιακό πάρκο ισχύος 50 MW στην Κίνα και συγκεκριμένα στην κεντρική Μογγολία.



Υπό κατασκευή βρίσκονται και τα Andasol 2 και Andasol 3 στην ίδια περιοχή με το Andasol 1. Η διαφορά τους με τα προαναφερθέντα έγκειται στο γεγονός ότι απαιτούν μικρότερη αλλά αποτελεσματικότερη γεννήτρια, με αποτέλεσμα να παράγουν περισσότερη ενέργεια όταν λειτουργούν σε 24ωρη βάση. Ένα πολύ μικρό ηλιακό πάρκο κατασκευάζεται στη Χαβάη ισχύος 1 MW. Το 2011 κατασκευάστηκε ένα νέο ηλιακό πάρκο στην περιοχή Mojana στην Καλιφόρνια, ισχύος 553MW, ενώ έχει ανακοινωθεί και η επέκταση του ηλιακού πάρκου στο Ισραήλ (έρημος Negev) από ισχύ 250MW σε 500 MW.

### **ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ SANDIA**

Η εταιρεία Sandia εφηύρε την τεχνολογία TOP (φωτογραφική μέθοδος) για να ευθυγραμμίσει με ακρίβεια τους καθρέπτες στα ηλιακά πάρκα παραβολικών κατόπτρων. Αποτελείται από έναν στύλο, στον οποίο είναι τοποθετημένες περιμετρικά πέντε κάμερες. Οι τέσσερις από αυτές τραβούν ψηφιακές φωτογραφίες τις τέσσερις σειρές καθρεπτών στο παραβολικό μέρος, ενώ η πέμπτη επικεντρώνεται στο κέντρο της δοκού. Στη συνέχεια, οι φωτογραφίες αυτές συγκρίνονται με τις πρότυπες που ήδη υπάρχουν και γίνονται οι απαιτούμενες διορθώσεις. Αν και η μέθοδος είναι αρκετά απλή, μπορεί να εφαρμοστεί τόσο κατά τον σχεδιασμό και κατασκευή του πάρκου όσο και κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Η απλότητα της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι δεν απαιτεί σύνθετο εξοπλισμό, είναι εύκολο να εγκατασταθεί και δεν είναι απαραίτητη η απομάκρυνση του συλλέκτη.

#### **2.1.2 Τυπικό παραβολικό κάτοπτρο - θερμικός βαθμός απόδοσης**

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του παραβολικού κατόπτρου έναντι των επίπεδων συλλεκτών είναι ο μεγάλος θερμικός βαθμός απόδοσής του. Αυτός μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση που προκύπτει από το ενεργειακό ισοζύγιο στον δέκτη και δίνεται σαν το λόγο της ωφέλιμης προσπιπτόμενης ενέργειας προς την ολική προσπιπτόμενη ακτινοβολία [25]:

$$\eta = \eta_0 \cdot (U_L(T_r - T_a)) / (I \cdot CR)$$

όπου

$\eta_0$  : ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης

$U_L$ : ο συντελεστής απωλειών [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$T_r$  και  $T_a$  : η μέση θερμοκρασία του δέκτη και του περιβάλλοντος αντίστοιχα

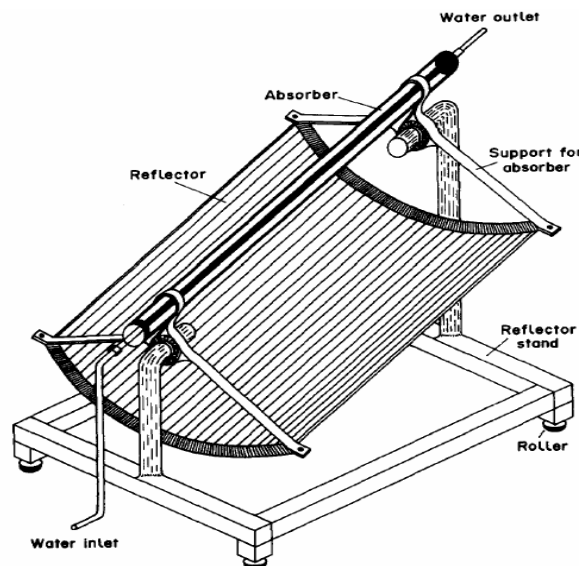
$I$ : η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας [ $W/m^2$ ]

CR: ο λόγος συγκέντρωσης.

Από την εξίσωση (1) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αποτελεσματικότητα ενός παραβολικού κατόπτρου εξαρτάται από τις ιδανικές ιδιότητες των υλικών από τα οποία κατασκευάζεται και από το μέγεθος των απωλειών, οι οποίες εκφράζονται από το δεύτερο όρο της εξίσωσης. Το πλεονέκτημα είναι ότι αυτές οι απώλειες είναι αντιστρόφως ανάλογες με τον λόγο συγκέντρωσης [25]. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την συμπεριφορά ενός παραβολικού κατόπτρου σε αντιπαράθεση με αυτή ενός επίπεδου συλλέκτη, στον οποίο  $CR=1$ .

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σχήμα 1



Τυπικό παραβολικό κάτοπτρο

Ο σχεδιασμός του συστήματος επιτυγχάνεται, λαμβάνοντας υπόψη τρεις παράμετρους: το βέλτιστο άνοιγμα του συλλέκτη, τη γωνία εξωτερικής στεφάνης και τη διάμετρο του δέκτη.

#### **Βέλτιστο άνοιγμα συλλέκτη**

Το άνοιγμα του συλλέκτη επηρεάζει τόσο τον μέγιστο βαθμό απόδοσης όσο και τον λόγο συγκέντρωσης. Όσον αφορά το μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθορίζεται από τις απώλειες λόγω γεωμετρικών παραγόντων, δηλαδή όσο μικρότερο είναι το άνοιγμα τόσο μικρότερες είναι και οι

γεωμετρικές απώλειες οπότε μεγαλύτερος και ο μέγιστος βαθμός απόδοσης [25]. Από την άλλη, για μια σταθερή τιμή της διαμέτρου του δέκτη, ο λόγος συγκέντρωσης μειώνεται όταν το άνοιγμα ελαττώνεται, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερες θερμικές απώλειες [25]. Ο στόχος είναι να υπάρχει μικρός γεωμετρικός παράγοντας με μεγάλο λόγο συγκέντρωσης.

Έστω:

$$\frac{U_L(T_i - T_a)}{I \times CR} = K$$

όπου K μια σταθερά. Τότε η εξίσωση (1) μπορεί να γραφτεί ως

$$n = n_0 - K/CR$$

Πίνακας 1

Optimisation of Collector Aperture			
Aperture width (Wa) (m)	Concentration Ratio (CR)	Optical Efficiency (%)	Thermal Efficiency (%)
0.5	13*26	57*3	34*7
0.6	15*92	55*9	37*1
0.7	18*57	54*2	38*0
0.8	21*22	52*2	38*1
0.9	23*87	49*9	37*3
1.0	26*53	46*9	35*6

Notes:  $\Phi_r=90^\circ$ ,  $D=12\text{mm}$ ,  $A_a=1\text{m}^2$ ,  $K=3^*0$ ,  $U_L=7\text{W/m}^2\text{oC}$ ,  $T_a=32\text{oC}$ ,  $T_r=250\text{oC}$

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται διάφορες τιμές ανοίγματος και πώς αυτές επηρεάζουν την αποδοτικότητα και τον λόγο συγκέντρωσης [25].

Πίνακας 2

Maximum Thermal Efficiency for a Range of K-Vales	
K- Value Range	Wa at which $n_{\max}$
0-1*2	0*5
1*3-1*9	0*6
2*0-2*9	0*7
3*0-4*5	0*8

Το πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι η σταθερά Κ εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και από τη δομή του δέκτη. Στον πίνακα 2 φαίνονται οι διάφορες τιμές του Κ σε συνάρτηση με το πλάτος ανοίγματος [25].

### Βέλτιστη γωνία εξωτερικής στεφάνης

Είναι φανερό ότι στο ίδιο άνοιγμα δέκτη αντιστοιχούν πολλές γωνίες. Επίσης για διαφορετικές γωνίες, ο λόγος εστίασης προς άνοιγμα, ο οποίος καθορίζει την καμπυλότητα του κατόπτρου, αλλάζει. Λόγω του γεγονότος ότι η επιφάνεια του συλλέκτη μειώνεται όσο μειώνεται και η γωνία, γίνεται φανερό ότι επιδιώκεται όσο το δυνατόν μικρότερη γωνία. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι η μείωση της επιφάνειας του συλλέκτη οδηγεί σε σημαντική μείωση της απόδοσής του. Οπότε επιλέγεται ως βέλτιστη τιμή της γωνίας η γωνία  $90^\circ$ , καθώς τότε οι απώλειες ηλιακής ακτινοβολίας ελαχιστοποιούνται [25].

### Διάμετρος δέκτη

Η διάμετρος του δέκτη καθορίζει τον παράγοντα ανακοπής ( $\gamma$ ) και κατά συνέπεια τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης. Ο παράγοντας ανακοπής ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που αναχαιτίζεται από τον δέκτη προς την συνολική ενέργεια που ανακλάται ( $\sigma$ ) [25]. Η τιμή του εξαρτάται από το μέγεθος του δέκτη, τα σφάλματα στις γωνίες ευθυγράμμισης των παραβολικών καθρεπτών και τη διάχυση της ηλιακής δέσμης [25]. Συμβολίζοντας τις τιμές που υπεισέρχονται σφάλματα με έναν αστερίσκο, ο παράγοντας  $\gamma$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\gamma = \frac{1 + \cos \phi_r}{2 \sin \phi_r} \int_0^{\phi_r} \text{Erf} \left( \frac{\sin \phi_r (1 + \cos \phi) (1 - 2d^* \sin \phi) - \pi \beta^* (1 + \cos \phi_r)}{\sqrt{2} \pi \sigma^* (1 - \cos \phi_r)} \right) - \text{Erf} \left( - \frac{\sin \phi_r (1 + \cos \phi) (1 + 2d^* \sin \phi) + \pi \beta^* (1 + \cos \phi_r)}{\sqrt{2} \pi \sigma^* (1 - \cos \phi_r)} \right) \frac{d\phi}{(1 + \cos \phi)}$$

Θεωρώντας γνωστές τις τιμές των απωλειών και με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού προγράμματος [25], καταλήγουμε στα αποτελέσματα του πίνακα 3.

Πίνακας 3 Τιμές παράγοντα ανακοπής

Intercept Factors for Various Receiver Diameters		
Receiver diameters (mm)	CR	Intercept factor
6	42*44	0*80
9	28*29	0*94
12	21*22	0*98
15	19*98	0*99
18	14*15	1*00
21	12*13	1*00

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά, η καλύτερη επιλογή διαμέτρου θα ήταν είτε 12 είτε 15mm. Η τελική όμως επιλογή θα εξαρτηθεί και από τη θερμική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας συγκεντρώθηκαν στον πίνακα 4.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης

Thermal Efficiency as as a Factor of Receiver Diameters		
Receiver diameters (mm)	Optiacal Efficiency	Thermal efficiency
6	0*529	0*496
9	0*618	0*568
12	0*648	0*579
15	0*661	0*562
18	0*661	0*542
21	0*661	0*545

Τελικά, η μέγιστη θερμική απόδοση επιτυγχάνεται με δέκτη διαμέτρου 12mm.

### 2.1.3 Βελτιωμένα κάτοπτρα

Σημαντικές προσπάθειες για βελτίωση των παραβολικών κατόπτρων έχουν διεξαχθεί και αφορούν κάθε παράμετρο που υπεισέρχεται στο σύστημα.

Συγκεκριμένα:

**Όσον αφορά τον συλλέκτη:**

- Η αμερικανική εταιρεία Solar Genix ανέπτυξε ένα νέο σύστημα υποστήριξης, το οποίο είναι ένα αλουμινένιο πλαίσιο, βασισμένο στο σχεδιασμό του Luz, αλλά πολύ ανώτερο όσον αφορά το βάρος, την κατασκευαστική απλότητα, την αντοχή σε καταπονήσεις, το κόστος και την εγκατάστασή του. Με αυτό τον σχεδιασμό, οι καθρέπτες συγκεντρώνονται με ακρίβεια πάνω στο συλλέκτη.
- Μια παρόμοια πατέντα κατασκευάστηκε και από την εταιρεία FLAGSOL και δοκιμάστηκε στο ηλιακό πάρκο SEGS.
- Η εταιρεία βιομηχανικής ηλιακής τεχνολογίας (IST) ανέπτυξε έναν συλλέκτη που ενσωματώνει την ανακλαστική επιφάνεια σαν μέρος του συλλέκτη. Αυτό οδηγεί σε έναν πολύ δυνατό συλλέκτη, μικρού βάρους και κόστους.

**Όσον αφορά τους ανακλαστήρες:**

Οι ανακλαστήρες αποτελούνται συνήθως από επιμέρους τμήματα συλλέκτη-συλλέκτη, τα οποία είναι κομμάτια χάλυβα με έναν καθρέπτη πάνω τους. Οι έρευνες που διεξάγονται στοχεύουν στη μείωση του πάχους του καθρέπτη, σε καλύτερες επιστρώσεις για βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους και στην δημιουργία ενός σύνθετου συλλέκτη με ελαφρούς καθρέπτες, στη θέση των βαρέων (4mm) γυάλινων καθρεπτών που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας.

**Όσον αφορά τους απορροφητήρες:**

Οι απορροφητήρες αποτελούνται από χαλύβδινους σωλήνες με έναν γυάλινο σωλήνα να τους περιβάλλει, ενώ το κενό που δημιουργείται μεταξύ τους μονώνεται έτσι ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Οι χαλύβδινοι σωλήνες επικαλύπτονται με ένα υλικό για αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας. Αρκετές βελτιώσεις έχουν βρεθεί, μερικές από τις οποίες είναι:

- Η εταιρεία Solel κατασκεύασε το νέο μοντέλο UVAC2003, το οποίο παρουσιάζει βελτιώσεις σε θέματα απορροφητικότητας, μετάδοσης θερμότητας και απωλειών. Το αποτέλεσμα είναι να είναι 20% αποτελεσματικότερο από τα προηγούμενα μοντέλα.
- Η IST επικάλυψε τους απορροφητήρες με μια μαύρη, από νικέλιο επίστρωση, η οποία δεν αντανακλά το φως και έτσι αυξάνεται η ποσότητα απορροφούμενης ακτινοβολίας.
- Τέλος, καινούρια μονωτικά υλικά δοκιμάζονται για την καλύτερη μόνωση του κενού που δημιουργείται μεταξύ γυαλιού και σωλήνα.

**Όσον αφορά το σύστημα αποθήκευσης:**

- Κατασκευάστηκε ένα σύστημα αποθήκευσης που αποτελείται από δύο δεξαμενές αποθήκευσης, το οποίο λειτουργεί με τετηγμένο άλας σαν εργαζόμενο μέσο. Πειράματα μεταξύ οργανικών αλάτων γίνονται, για τον καθορισμό του πιο αποτελεσματικού.
- Ευρωπαϊκές μελέτες ανέδειξαν το τσιμέντο ή χυτά υλικά ως κατάλληλα για αποθήκευση ενέργειας σε

υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με εργαζόμενο μέσο το συνθετικό πετρέλαιο.

• Χρήση υλικών που υπόκεινται σε αλλαγή φάσης (συνήθως από στερεή σε υγρή) σε θερμοκρασία ίση με της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η υψηλή λανθάνουσα θερμότητα κατά την αλλαγή φάσης ευνοεί τη μεγαλύτερη αποθήκευση ενέργειας.

Ακολουθεί εκτεταμένη αναφορά σε κάποιες από τις προαναφερθείσες βελτιώσεις.

### 2.1.3.1 Παραβολικός συλλέκτης σχήματος σκάφης γραμμικής εστίασης

#### Γενικά

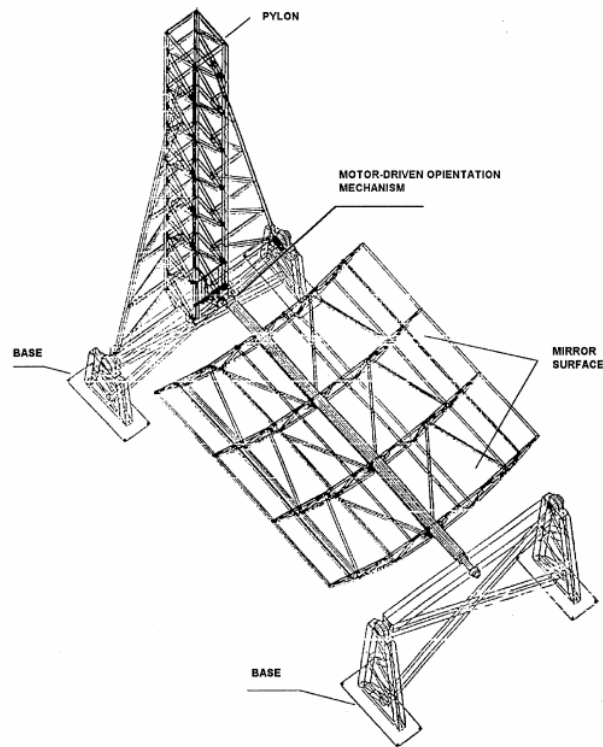
Οι παραβολικοί συλλέκτες σχήματος σκάφης, εξαιτίας της ικανότητάς τους να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες (από 300 – 400°C) με υψηλό βαθμό απόδοσης, αποτελούν το καταλληλότερο είδος συλλεκτών για παραγωγή ατμού. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο συλλέκτης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του σωλήνα, στο εσωτερικό του οποίου ρέει το εργαζόμενο μέσο. Ένας κενός χώρος γύρω από τον σωλήνα, καθώς επίσης και ένα θερμομονωτικό στο πίσω μέρος του, εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών.

#### Δομή

Ο συλλέκτης αποτελείται από τέσσερις βασικές συνιστώσες: το μεταλλικό πλαίσιο, τους παραβολικούς καθρέπτες, το απορροφητικό σύστημα και το σύστημα ελέγχου.

##### ➤ *Μεταλλικό πλαίσιο*

Το μεταλλικό πλαίσιο φέρει δύο σταθερές βάσεις και τρία κινούμενα μέρη, ένα εκ των οποίων συνδέεται με μια σταθερή βάση, γεγονός το οποίο παρέχει τη δυνατότητα στον συλλέκτη να μετακινείται κατά τις σφαιρικές συνιστώσες (φ,θ) [23]. Όταν ο συλλέκτης βρίσκεται σε οριζόντια θέση, ένας μικρός τροχός μετακινείται κατά μήκος του πυλώνα, με κατεύθυνση την κορυφή του, αναγκάζοντας το ένα άκρο του άξονα του συλλέκτη (στροφέα) να μετακινηθεί κατά την ίδια φορά. Κατά αυτόν τον τρόπο, αφού το ένα άκρο του καθώς επίσης και το μήκος του παραμένουν σταθερά, ο πυλώνας μπορεί να αλλάζει θέση σε σχέση με το έδαφος και να παρακολουθεί τον ήλιο ανάλογα με την εποχή. Περιστρέφοντας τον άξονα του συλλέκτη, αποκτά την επιπρόσθετη δυνατότητα να εντοπίζει την ηλιακή ακτινοβολία καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Για τις δύο αυτές προαναφερθείσες κινήσεις του συλλέκτη, απαιτούνται δύο εναλλασσόμενες γεννήτριες 1.5 kW η κάθε μία [23].



Σχήμα 1 Παραβολικός συλλέκτης σχήματος σκάφης γραμμικής εστίασης

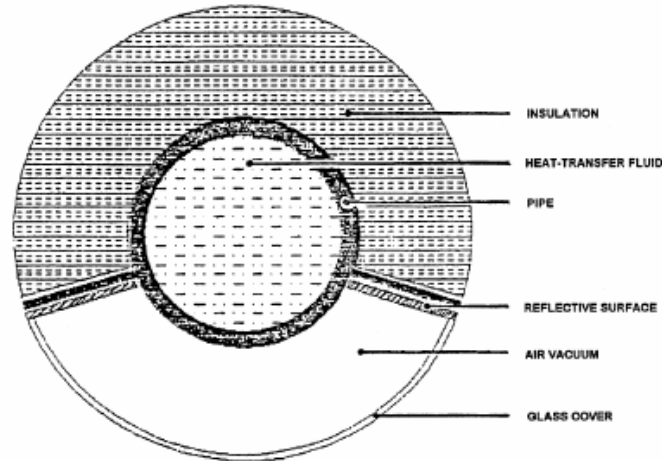
➤ Παραβολικοί καθρέπτες

Η ενεργή επιφάνεια του συλλέκτη αποτελείται από τέσσερις παραβολικούς καθρέπτες (3 m<sup>2</sup> έκαστος), η τοποθέτηση των οποίων πάνω στην πλατφόρμα πρέπει να γίνεται κατά τρόπο συμμετρικό ως προς τον άξονα περιστροφής. Η συνολικά εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία εστιάζεται σε μια παράλληλη προς τον άξονα περιστροφής, γραμμή η οποία απέχει 170 cm από αυτόν. Το πάχος των καθρεπτών είναι μικρό (0.4 cm) επομένως έχουν και μικρό βάρος. Επιπρόσθετα, χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας (98%) [23].

➤ Απορροφητικό σύστημα

Το απορροφητικό σύστημα αποτελείται από έναν αγωγό τοποθετημένο παράλληλα με τον άξονα περιστροφής και συγκεκριμένα στο σημείο, το οποίο δέχεται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Το σημαντικότερο μέρος του συστήματος είναι ο μονωμένος χώρος (φάκελος) διαμέτρου 9 cm που περικλείει τον απορροφητήρα (σχήμα 2) [23]. Το κενό μεταξύ του γυαλιού και του μεταλλικού αγωγού εξασφαλίζει τη μείωση των θερμικών απωλειών





Σχήμα 2 Μονωμένος φάκελος που περικλείει τον απορροφητήρα

### ➤ Σύστημα ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από τέσσερις αισθητήρες για μετρήσεις θερμοκρασιών, έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, μεταφοράς θερμότητας και θέσης του άξονα του συλλέκτη [23].

### Ανάλυση

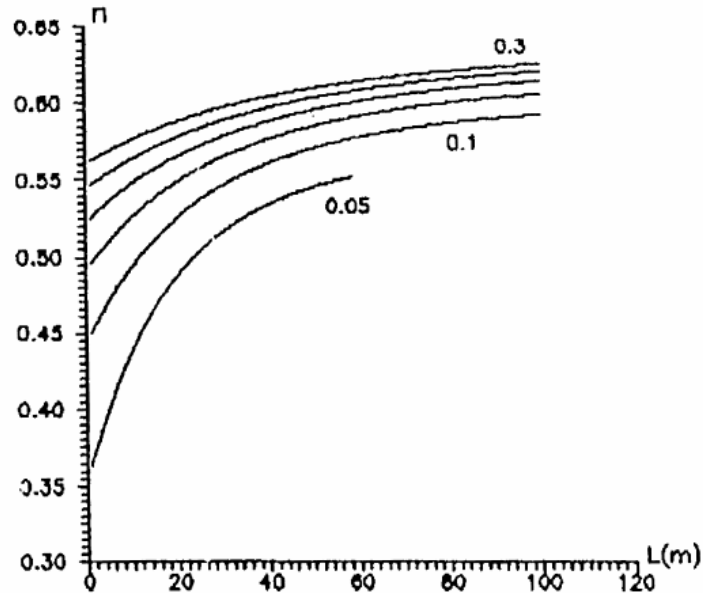
Η ανάλυση της λειτουργίας του συγκεκριμένου συλλέκτη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού προγράμματος [23]. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτήθηκαν για τους υπολογισμούς, παρέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 Τιμές παραμέτρων συλλέκτη

Parameter	Value
Reflection coefficient	0.9
Transmission coefficient	0.85
Absorption coefficient	0.92
Active area thermal loss	2 W/m <sup>2</sup> °C
Passive area thermal loss	0.2 W/m <sup>2</sup> °C
Thermal conductivity	0.5 W/m <sup>2</sup> °C
Insulation's thermal transmittance	0.045 W/m <sup>2</sup> °C
Ambient temperature	17 °C

Οι γραφικές παραστάσεις που έπονται, δίνουν μια απεικόνιση της συσχέτισης του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη με διάφορες συνιστώσες. Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε ότι όταν η παροχή εργαζόμενου

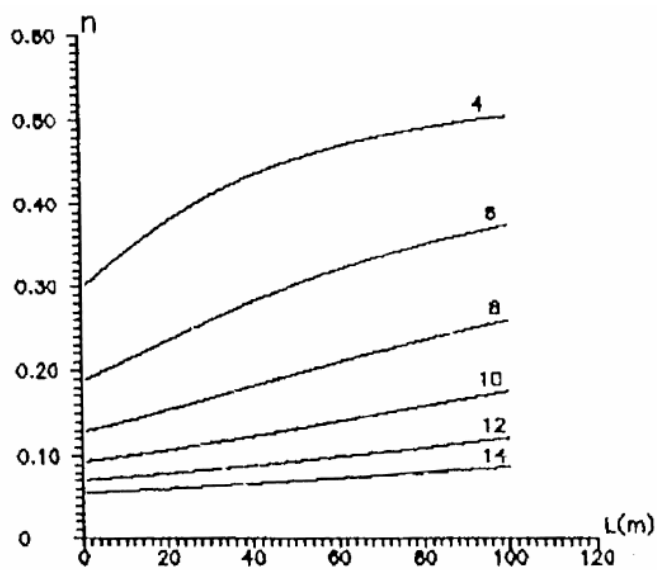
μέσου αυξάνεται, ο βαθμός απόδοσης βελτιώνεται. Βέβαια αυτό δεν είναι δυνατόν για πολύ μεγάλες παροχές, διότι τότε η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου μειώνεται και δεν μπορεί να παραχθεί ατμός. Από το ίδιο σχήμα (σχήμα 3) είναι εμφανής η αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ του βαθμού απόδοσης και του μήκους του αγωγού.



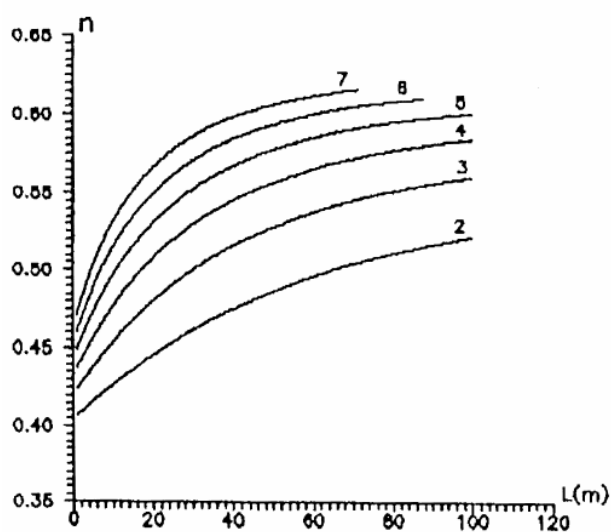
Σχήμα 3 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη σε συνάρτηση με μήκος του αγωγού

Από το σχήμα 4 παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται καθώς μειώνεται η διάμετρος του αγωγού. Αυτό εξηγείται από τη μεγαλύτερη πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην ενεργή επιφάνεια του συλλέκτη. Εξαιτίας όμως της ανακλαστικότητας του ήλιου, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί όσον αφορά τη μείωση της διαμέτρου.

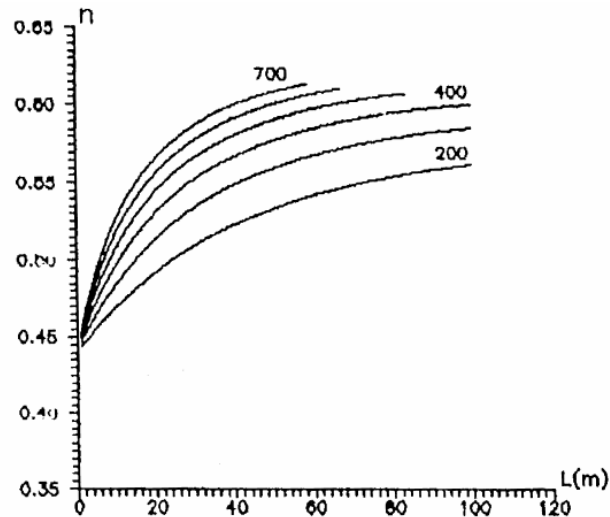
Τέλος, τα σχήματα 5 και 6 παριστούν την σχέση του βαθμού απόδοσης με την διάμετρο του καθρέπτη και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα.



Σχήμα 4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη σε συνάρτηση με διάμετρο αγωγού



Σχήμα 5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη σε συνάρτηση με τη διάμετρο του καθρέπτη



Σχήμα 6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη σε συνάρτηση με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

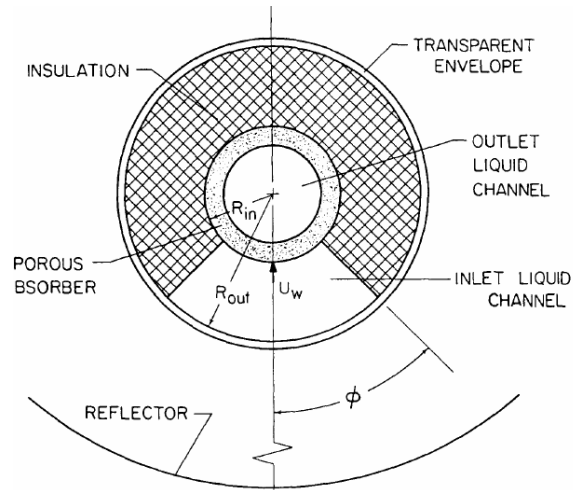
### 2.1.3.2 Παραβολικός συλλέκτης σχήματος σκάφης με πορώδη απορροφητή

#### Γενικά

Οι θερμικές απώλειες του δέκτη ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη υπονομεύουν την αποτελεσματικότητά του όταν αυτός λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συμβατικοί συλλέκτες αυτού του τύπου συνοδεύονται από έναν εκκενωμένο χώρο, στον οποίο εμπεριέχεται ο συλλέκτης έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ένας συλλέκτης, ο οποίος αποτελείται από απορροφητή πορώδους υλικού και ο οποίος κατασκευάζεται εύκολα και με χαμηλό κόστος.

#### Δομή

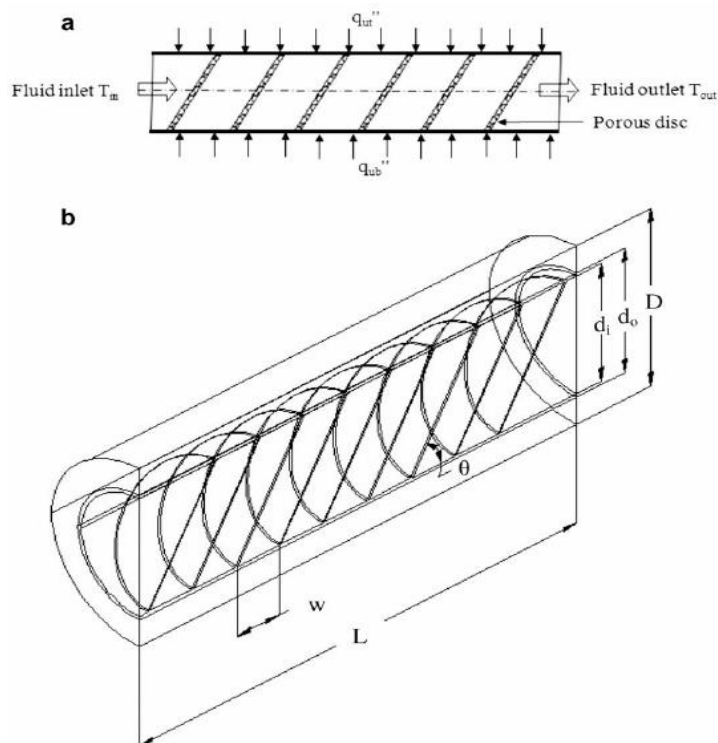
Τομή του συγκεκριμένου συλλέκτη απεικονίζεται στο σχήμα 1. Η ηλιακή ακτινοβολία περνά από το κάτω μέρος του εκκενωμένου χώρου και διοχετεύεται σε διαφανές υλικό, το οποίο ρέει στο κανάλι εισόδου. Μέσω του πορώδη απορροφητή, εισέρχεται στο κανάλι εξόδου (όπου και επικρατούν χαμηλότερες συνθήκες πίεσης) και τελικά εξέρχεται από το άλλο άκρο του.



Σχήμα 1 Τομή παραβολικού συλλέκτη σχήματος σκάφης με πορώδη απορροφητή

### Ανάλυση

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2, θεωρούμε δύο μισά μέρη του απορροφητή. Το πάνω μέρος του υπόκειται σε ροή θερμότητας ίση με  $q''_{ub}$  και το κάτω σε με  $q''_{ut}$  [24]. Οπότε ο απορροφητής θεωρείται συμμετρικός ως προς τον κατακόρυφο άξονά του.

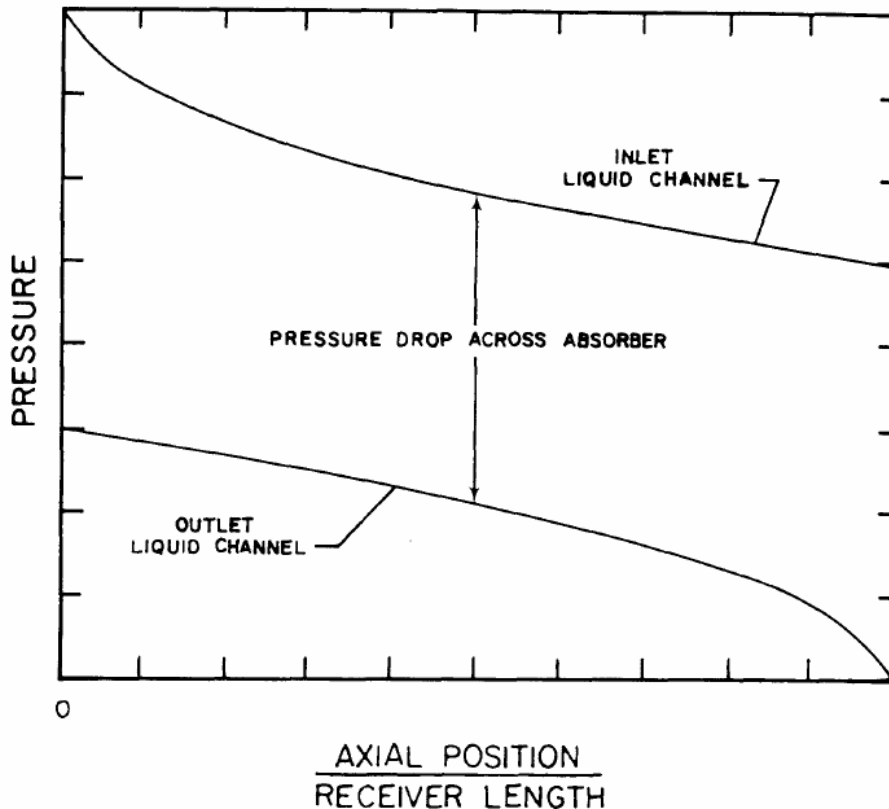


Σχήμα 2 Ροή θερμότητας στον συλλέκτη

Η ροή θερμότητας υπολογίζεται από:

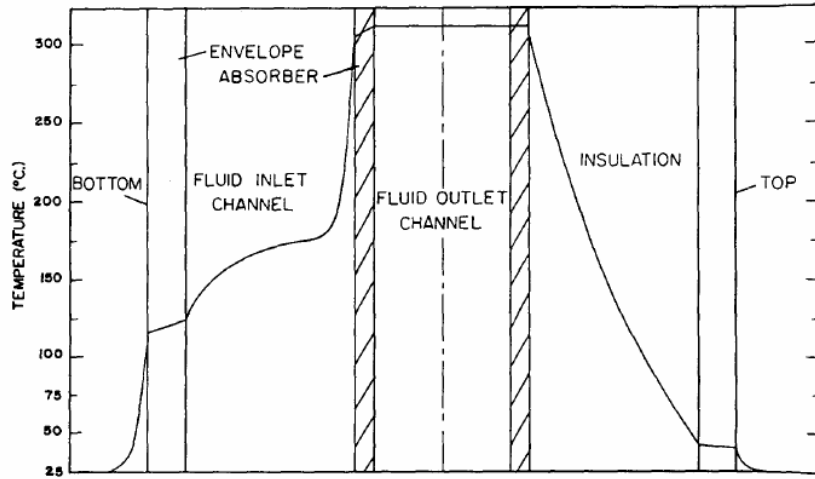
$$q_{ut} = q_{ub} = I_b \times (\tau\alpha)_b - U_1 \times (T_{wo} - T_a)$$

Τα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζουν τις μεταβολές διαφόρων παραμέτρων κατά μήκος του συλλέκτη. Αναλυτικά, στο σχήμα 3 φαίνεται η πτώση πίεσης, η οποία αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από το κανάλι εισόδου [24].

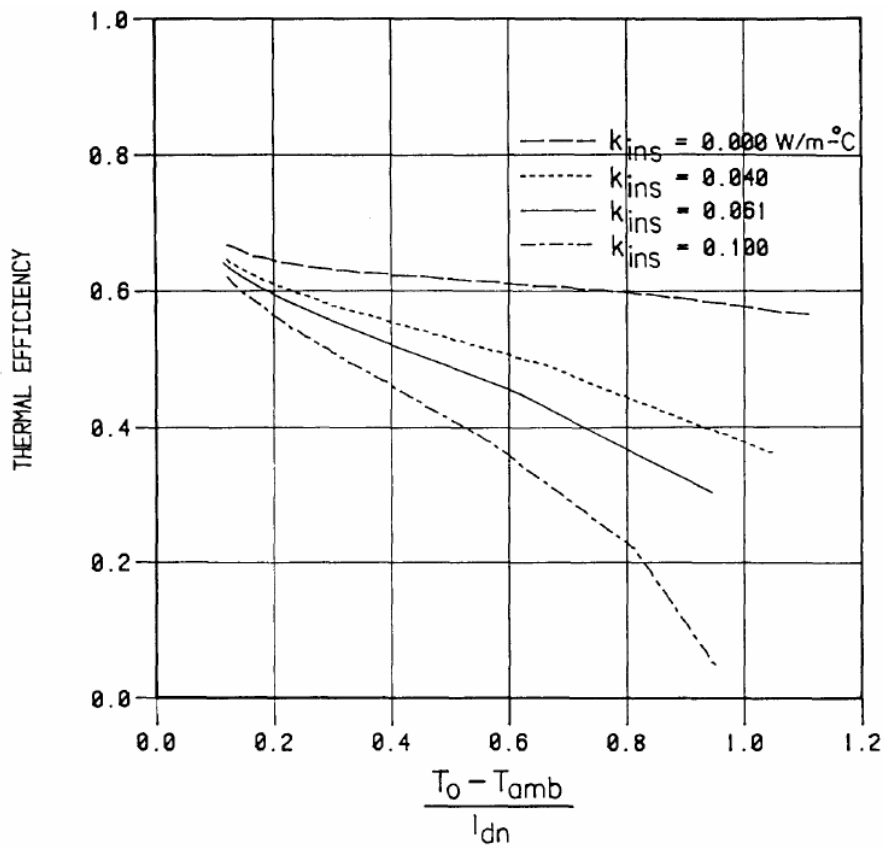


Σχήμα 3 Πτώση πίεσης από κανάλι εισόδου

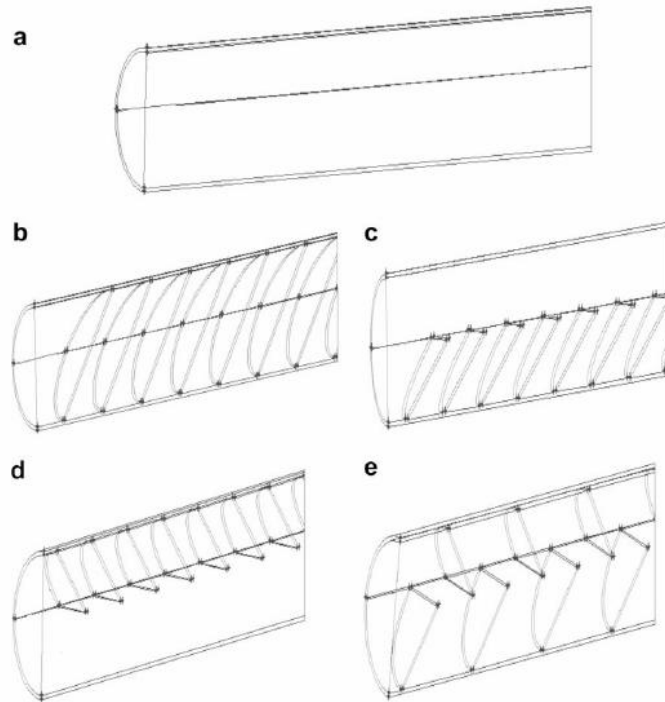
Στο σχήμα 4 φαίνεται η μεταβολή των θερμοκρασιών, ενώ στο σχήμα 5 ο βαθμός απόδοσης για διάφορα μονωτικά υλικά. Τέλος, το σχήμα 6 απεικονίζει ποικίλες μορφές μόνωσης.



Σχήμα 4 Μεταβολή θερμοκρασιών κατά μήκος του συλλέκτη



Σχήμα 5 Βαθμός απόδοσης για διάφορα μονωτικά υλικά



Solar parabolic trough receiver models: (a) tubular (b) full disc (c) bottom half disc (d) top half disc and (e) alternative disc.

Σχήμα 6 Διάφορες μορφές μόνωσης

### 2.1.3.3 Παραβολικός συλλέκτης σχήματος σκάφης με δευτερεύοντες ανακλαστές

#### Γενικά

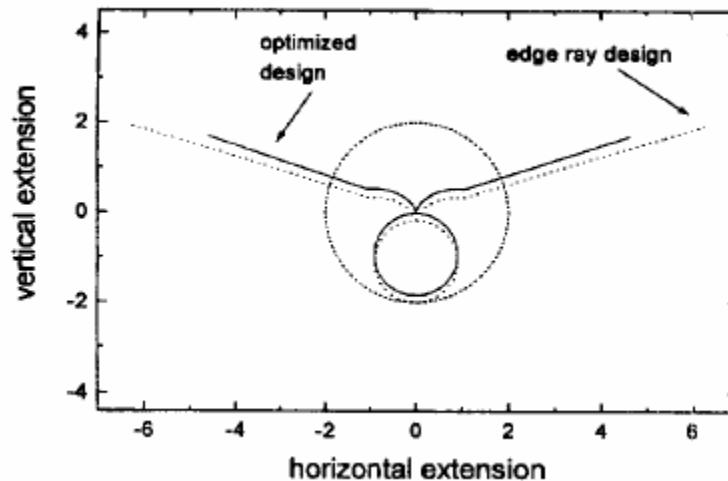
Η χρήση δευτερευόντων ανακλαστήρων είναι πολύ διαδεδομένη στους σύγχρονους συλλέκτες. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι δευτερεύοντες ανακλαστήρες επιτυγχάνουν υψηλότερες θερμοκρασίες, συνέπεια του οποίου είναι να αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη. Επιπλέον, η χρήση των δευτερευόντων ανακλαστήρων έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες διαστάσεις του απορροφητή, γεγονός που ευνοεί τον έλεγχο της ροής του εργαζόμενου μέσου καθώς επίσης και των πιέσεων λειτουργίας του. Τέλος, η παρουσία των ανακλαστήρων επιτυγχάνει ομοιόμορφη κατανομή της ακτινοβολίας στον απορροφητή, οπότε και μικρότερες θερμικές τάσεις [26].

#### Δομή

Πολυάριθμοι ασύμμετροι δευτερεύοντες ανακλαστήρες έχουν προταθεί για χρήση με παραβολικούς συλλέκτες. Ωστόσο, αρκετή ακτινοβολία χάνεται ανάμεσα από τα πτερύγια των ανακλαστήρων, με αποτέλεσμα να απαιτείται τροποποίηση της δομής τους.



Μια λύση είναι ο βασικός ανακλαστήρας να χωριστεί σε δύο μικρότερους κλίσης  $45^\circ$  [26]. Αυτή όμως η λύση που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα, δεν απαιτεί αλλαγές στον βασικό ανακλαστήρα, αλλά βελτιστοποιεί το σχήμα του απορροφητή, ώστε να μπορεί να συνδυαστεί με τους δευτερεύοντες ανακλαστήρες. Το σχήμα 1 απεικονίζει ένα συλλέκτη με επεξεργασμένους δευτερεύοντες ανακλαστήρες και σωληνοειδείς απορροφητές. Για να μην επέλθει μεταβολή στη δομή του βασικού συλλέκτη, το κέντρο του μετατοπίζεται ως προς τον εστιακό άξονα του βασικού και κατά αυτόν [26].

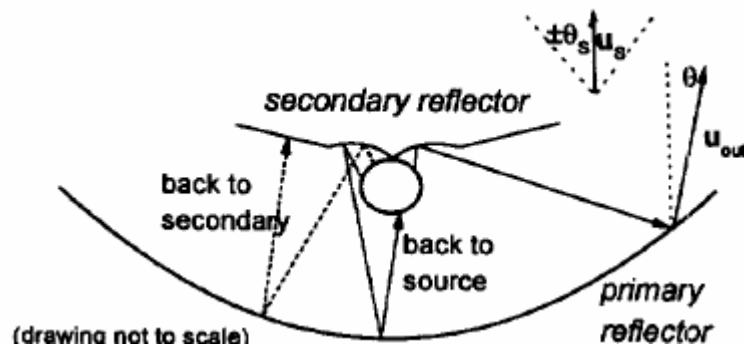


Σχήμα 1 Παραβολικός συλλέκτης σχήματος σκάφης με δευτερεύοντες ανακλαστήρες

Ο δευτερεύοντας ανακλαστήρας αποτελείται από ένα τμήμα δια εξελιγμένης, το οποίο ευρύνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις και το οποίο ακολουθείται από ένα επεξεργασμένο άκρο, αποκλίνοντος τύπου το οποίο προσομοιάζει τον ευθύ ανακλαστήρα. Η μεταβολή από το τμήμα δια εξελιγμένης στο επεξεργασμένο τμήμα χαρακτηρίζεται από μία ασυνέχεια [26].

### Ανάλυση

Έστω  $N$  το πλήθος των ηλιακών ακτινών που απορροφά ο απορροφητής. Ένα μέρος αυτών διοχετεύεται στον δευτερεύοντα ανακλαστήρα μέσω του βασικού, ενώ οι υπόλοιπες ανακλώνται και επιστρέφουν στον απορροφητή (σχήμα 2).



Σχήμα 2 Σχηματική απεικόνιση πορείας ηλιακών ακτίνων

Ο βαθμός απόδοσης [26] τότε υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$n = P_{abs} / P_p = \gamma \times C_{rel}$$

όπου  $P_{abs}$  : η απορροφόμενη ισχύς

$P_p$  : η προσπίπτουσα ισχύς

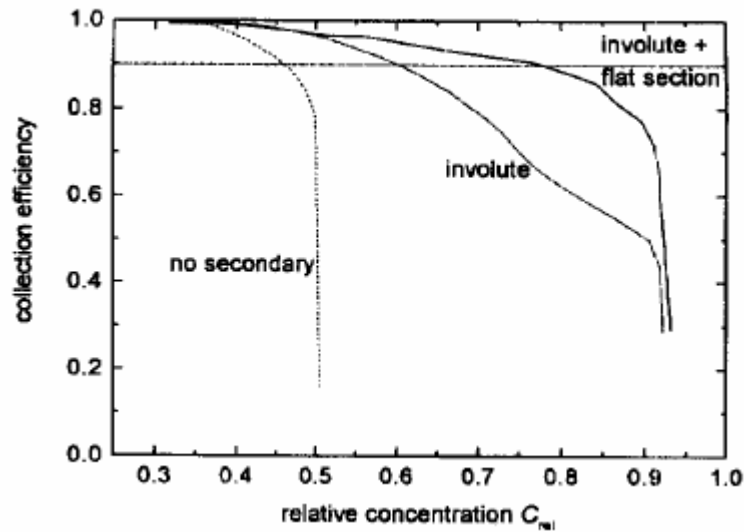
$\gamma$  : συντελεστής γεωμετρικών διαστάσεων

$C_{rel}$  : σχετική συγκέντρωση

Για τη μελέτη του συγκεκριμένου είδους συλλέκτη υποθέτουμε τρία διαφορετικά είδη ανακλαστήρων, τα οποία και συγκρίνουμε:

- Στο πρώτο είδος δε χρησιμοποιείται καθόλου δευτερεύοντα ανακλαστήρα. Ο σωλήνας τοποθετείται κατακόρυφα και κοντά στο κέντρο του παραβολικού πιάτου.
- Χρησιμοποιείται ένας ανακλαστήρας με ένα τμήμα δια εξελιγμένης που ξεκινά από την κορυφή του κυλινδρικού απορροφητή. Και εδώ ο σωλήνας είναι τοποθετημένος κατακόρυφα, αλλά ο απορροφητής είναι μετατοπισμένος από το κέντρο του βασικού ανακλαστήρα.
- Η τρίτη περίπτωση αφορά τον υπό μελέτη συλλέκτη. Το μήκος του ευθύ ανακλαστήρα υπολογίζεται ως η βέλτιστη λύση όσον αφορά την παγίδευση της ηλιακής ακτινοβολίας και το φαινόμενο της σκίασης. Θεωρώντας  $N = 104$ , υπολογίζεται ότι η σχετική συγκέντρωση της πρώτης περίπτωσης είναι της τάξης του 0.5 ενώ για τη δεύτερη 0.92 και για την τελευταία

0.93 (σχήμα 3) [26]. Αν και οι δύο τελευταίες περιπτώσεις δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στο μέγεθος της συγκέντρωσης, η χρήση συλλέκτη με δευτερεύοντα ανακλαστήρα με τμήμα δια εξελιγμένης και ευθύ απαιτεί μικρότερο αριθμό ανακλαστήρων.



Σχήμα 3 Βαθμός απόδοσης σε συνάρτηση με σχετική συγκέντρωση

Η σχετική συγκέντρωση των δευτερευόντων ανακλαστήρων (για τις δύο τελευταίες περιπτώσεις) υπολογίζεται, για δεδομένο βαθμό απόδοσης, από την παρακάτω σχέση:

$$C_{sec}(n) = C_{rel} / C_{rel}^0(n)$$

όπου  $C_{rel}^0(n)$ : η σχετική συγκέντρωση χωρίς δευτερεύοντες ανακλαστήρες

Για  $n = 0.9$ , είναι  $C_{sec} = 1.4$  όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση και  $C_{sec} = 1.7$  όσον αφορά την τρίτη. Είναι εμφανής η υπεροχή της τρίτης περίπτωσης, αν και για τη μελέτη αυτή δεν λήφθηκαν υπόψη φαινόμενα σκίασης και ατελούς ανακλαστικότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ανακλαστήρας μικρότερου μήκους από τον ιδανικό και ο απορροφητής είναι λιγότερο μετατοπισμένος. Στις ιδανικές περιπτώσεις, ο βαθμός απόδοσης βρέθηκε ίσος με 0.973, ενώ για τις πραγματικές 0.969.

#### 2.1.3.4 Παραβολικό κάτοπτρο με δύο δεξαμενές αποθήκευσης

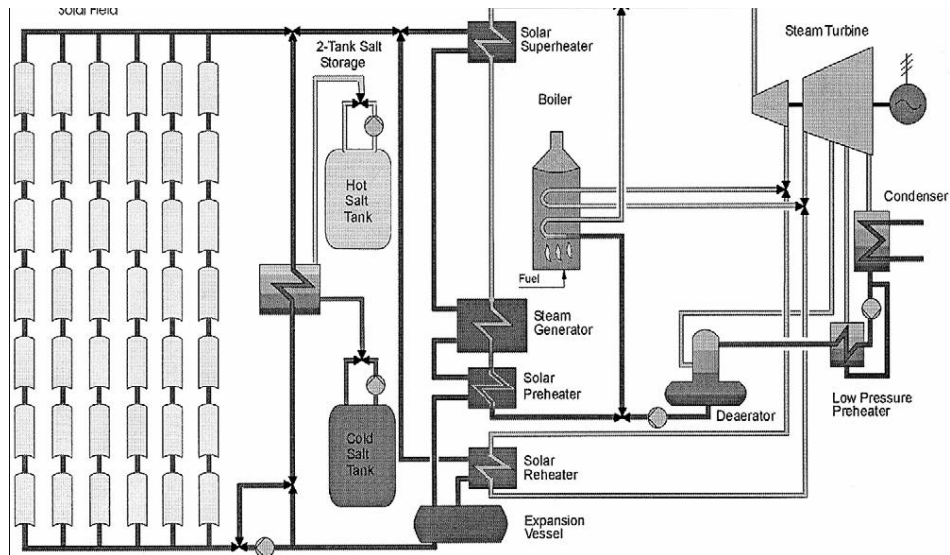
##### Γενικά

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, τα παραβολικά κάτοπτρα χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία ως τη βασική πηγή για παραγωγή ηλεκτρισμού. Με επαρκή ηλιακή ακτινοβολία (κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες) μπορούν να λειτουργήσουν για 10 – 12 ώρες την ημέρα. Αντίθετα, το χειμώνα και κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου η ακτινοβολία είναι ελάχιστη, είναι απαραίτητο να βρεθούν άλλοι τρόποι υποβοήθησης του συστήματος. Για αυτό τον σκοπό έχουν σχεδιαστεί υβριδικά ηλιακά συστήματα με

σύστημα υποστήριξης που λειτουργεί με καύσιμα και το οποίο ενεργοποιείται σε περιόδους με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία. Ένας άλλος τρόπος, είναι να υπάρχει ενσωματωμένο στο σύστημα, ένα υποσύστημα αποθήκευσης ηλιακής ακτινοβολίας. Μια πολύ διαδεδομένη εκδοχή είναι η χρήση διπλής δεξαμενής αποθήκευσης που λειτουργεί με τετηγμένο άλας.

## Δομή

Στο σχήμα 1 παριστάνεται η σχηματική απεικόνιση του συστήματος.



Σχήμα 1 Σύστημα με διπλή δεξαμενή αποθήκευσης

Ένας θερμικός εναλλάκτης, ο οποίος χρησιμεύει για την πλήρωση της δεξαμενής αποθήκευσης, χρησιμοποιεί ένα μέρος του εργαζόμενου μέσου για να θερμάνει το άλας που βρίσκεται στην ψυχρή δεξαμενή από 300°C σε 385°C και το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται στη θερμή δεξαμενή [27]. Όταν το σύστημα αποθήκευσης εκκενωθεί, τότε το άλας από την θερμή δεξαμενή χρησιμοποιείται για να θερμάνει το ψυχρό εργαζόμενο μέσο και στη συνέχεια οδηγείται στην ψυχρή δεξαμενή Αποθήκευσης. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία: τα αποθέματα νιτρικού άλατος, τις δεξαμενές αποθήκευσης νιτρικού άλατος, τους θερμικούς εναλλάκτες και τις αντλίες κυκλοφορίας των νιτρικών αλάτων.

## Αποθέματα

### νιτρικού άλατος

Τα ανόργανα νιτρικά άλατα είναι τα προτεινόμενα αποθηκευτικά μέσα γιατί συνδυάζουν την πυκνότητα (1880kg/m<sup>3</sup>), ειδική θερμότητα (1500J/kg.K), μικρή χημική αντίδραση, πίεση ατμοποίησης (<0.01Pa)

και κόστος (\$0.40-\$0.90/kg). Μετά από συγκρίσεις σε διάφορα νιτρικά μίγματα, το μίγμα  $\text{NaNO}_3$  και  $\text{KNO}_3$  επιλέχθηκε ως το βέλτιστο αφού το σημείο πήξης του ( $220\text{ }^\circ\text{C}$ ) είναι κατά  $80\text{ }^\circ\text{C}$  υψηλότερο από το σημείο πήξης του συστήματος και είναι και το πιο οικονομικό [27].

### **Δεξαμενές αποθήκευσης**

Η μικρή πίεση ατμοποίησης των αλάτων επιτρέπει τη χρήση κάθετων δεξαμενών αποθήκευσης [27]. Οι τεράστιες δεξαμενές που λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση, κατασκευάζονται από χάλυβα και έχουν αυτόνομες οροφές. Τόσο τα τείχη όσο και η οροφή των δεξαμενών επικαλύπτονται από μονωτικά για εξάλειψη των θερμικών απωλειών.

### **Θερμικοί εναλλάκτες**

Οι θερμικοί εναλλάκτες πρέπει να σχεδιάζονται με εύρος  $3 - 10\text{ }^\circ\text{C}$  έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν τυχόν λάθη κατά τη διάρκεια της εκκένωσης των δεξαμενών και για να διατηρούν λογική μεταφορά ρευστού κατά τη διάρκεια της πλήρωσής τους [27]. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πίεση ατμοποίησης του εργαζόμενου μέσου είναι περίπου 10bar (σε εξωτερική θερμοκρασία συλλέκτη ίση με  $390\text{ }^\circ\text{C}$ ) και προσμετρώντας τις απώλειες πίεσης στους εναλλάκτες και στις αντλίες, τότε η πίεση στο εσωτερικό του εναλλάκτη πρέπει να είναι περίπου 20 bar [27]. Αντιθέτως, η πίεση ατμοποίησης των αλάτων είναι πολύ μικρή οπότε για να είναι εφικτή η κυκλοφορία του θα πρέπει η πίεση να είναι γύρω στα 5 bar [27]. Επομένως, ο θερμικός εναλλάκτης πρέπει να προσαρμόζει μια διαφορά πίεσης της τάξης των 15 bar μεταξύ του εργαζόμενου μέσου και του ρευστού αποθήκευσης. Ο πιο οικονομικός θερμικός εναλλάκτης που συνδυάζει όλα τα παραπάνω είναι ένας που συνδυάζει σωληνοειδές σχεδιασμό με κέλυφος. Κατά αυτόν τον τρόπο, το ρευστό υψηλής πίεσης βρίσκεται στην σωληνοειδή πλευρά του εναλλάκτη και τα νιτρικά άλατα στην κελυφοειδή [27].

### **Αντλίες κυκλοφορίας**

Ειδικές αντλίες κυκλοφορίας που να αντέχουν στις διαβρώσεις των νιτρικών αλάτων δεν έχουν εφευρεθεί ακόμη, οπότε χρησιμοποιούνται κατακόρυφες αντλίες, οι οποίες με την βοήθεια της βαρύτητας επιτρέπουν την ανακυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου [27].

### **Ανάλυση**

Για να υπολογιστεί η ηλεκτροπαραγωγή ενός ηλιακού πάρκου, δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα. Με δεδομένες τις τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, το πρόγραμμα υπολογίζει τη ροή μάζας και θερμοκρασίας, την απορροφόμενη ενέργεια, την θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται στις δεξαμενές, τις θερμικές απώλειες και την ισχύ

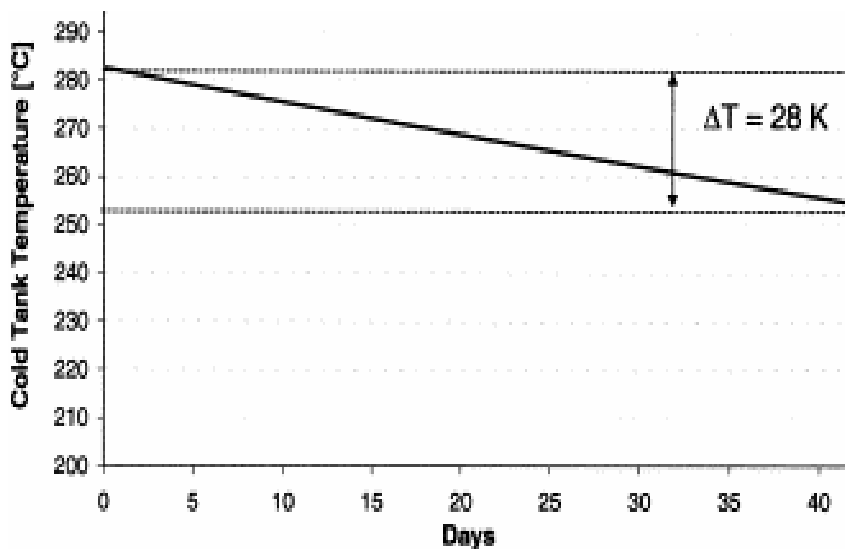
που παρέχει η γεννήτρια.

Για τα παραβολικά κάτοπτρα με δεξαμενές αποθήκευσης, η ανάλυση πρέπει πρώτα να γίνει για την λειτουργία της γεννήτριας και κατόπιν για τις δεξαμενές. Και αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι μόνο αν η απορροφόμενη ενέργεια ξεπεράσει τις προδιαγραφές του συστήματος, τότε αυτή αποθηκεύεται. Αν από την άλλη, η απορροφόμενη ακτινοβολία είναι μικρότερη, τότε προσροφάτε ενέργεια από την ήδη αποθηκευμένη. Κατά αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται η λειτουργία της γεννήτριας στο πλήρες φορτίο της.

Στο υπολογιστικό μοντέλο που προείπαμε, είναι αναγκαίο να προστεθούν οι θερμικές απώλειες των δεξαμενών. Αυτές υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$q_{\text{loss}}=0.00017 \times T_{\text{salt}} + 0.012 \text{ [kW/m}^2\text{]}$$

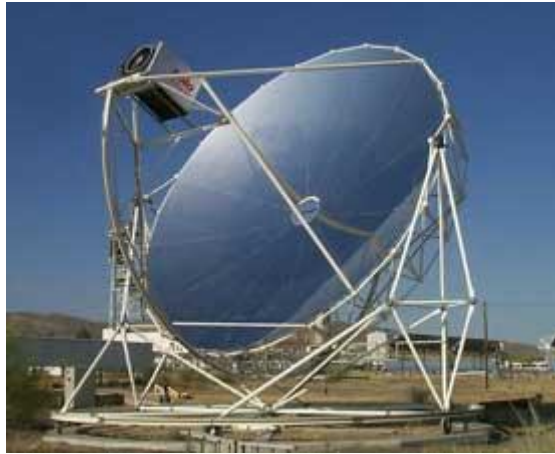
όπου  $T_{\text{salt}}$  [oC] η θερμοκρασία των νιτρικών αλάτων στην ψυχρή ή στην θερμή δεξαμενή αποθήκευσης. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών είναι απαραίτητος για τον καθορισμό της απόδοσης των δεξαμενών αλλά και για την εξασφάλιση ότι το νιτρικό άλας δεν θα φτάσει την θερμοκρασία πήξης του [27]. Το σχήμα 2 απεικονίζει τα αποτελέσματα υπολογισμών για την ψύξη της ψυχρής δεξαμενής μετά από 6 ώρες αποθήκευσης, αν είναι εκτός λειτουργίας για αρκετές εβδομάδες τον χρόνο. Το σχήμα δείχνει ότι μετά από 6 εβδομάδες αποθήκευσης χωρίς να λειτουργεί, η θερμοκρασία ήταν πάνω από 250 oC οπότε και αρκετά υψηλότερα από το σημείο πήξης των αλάτων.



Σχήμα 2 Θερμοκρασία ψυχρής δεξαμενής σε περίοδο μη λειτουργίας της

Τα παραπάνω ισχύουν για κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος. Σε ακραίες συνθήκες, ενδείκνυται η χρήση ενός αισθητήρα ο οποίος θα παρεμβαίνει και θα πραγματοποιεί διορθώσεις στο σύστημα [27].

## 2.2 Παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες CPC



Σχήμα Συλλέκτης τύπου CPC

Οι κυρτοί σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες (CPC) αποτελούνται από δυο μισούς – παραβολικούς ανακλαστές και έναν μεταλλικό ανακλαστή, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κάτω μέρος του κατόπτρου. Αν είναι προσανατολισμένος σε ανατολή προς δύση, τότε το κάτοπτρο είναι σταθερό. Οι CPC είναι ικανοί να συλλέγουν και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, εκτός από άμεση. Επίσης είναι αποτελεσματικοί για μεσαίες θερμοκρασίες. Αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένοι όσο τα κάτοπτρα σχήματος σκάφης, έχουν παρουσιάσει σημαντική εξέλιξη κατά το πέρασμα των χρόνων, οπότε και κεντρίζουν το ενδιαφέρον μας για περαιτέρω αναφορά τους.

Όλοι οι δισδιάστατοι συλλέκτες (2-D) CPC έχουν επιθυμητή γωνία πρόσπτωσης, η οποία συχνά τους δίνει την δυνατότητα να λειτουργούν κατά τη διάρκεια μιας πλήρους ημέρας χωρίς να χρειάζεται η διαδικασία παρακολούθησης του ήλιου, που είναι αναγκαίος στους τρισδιάστατους (3-D), όταν ο επιμήκης άξονας προσανατολίζεται στην ανατολή – δύση. Υπάρχουν πολλά μοντέλα αυτού του είδους συλλέκτη, μερικά από τα οποία μελετώνται στα παρακάτω κεφάλαια.

### 2.2.1 Συγκεντρωτικοί παραβολικοί συλλέκτες με επίπεδους απορροφητές διπλών επιφανειών (CPC)

#### Γενικά

Ο προτεινόμενος συλλέκτης βασίζεται σε ένα ασύμμετρο κόλουρο παραβολικό ανακλαστή, ο οποίος αποτελείται από ένα παραβολικό και ένα κυκλικό μέρος [32]. Ένας επίπεδος απορροφητής διπλής επιφάνειας εγκαθίσταται στο επάνω μέρος του συλλέκτη παράλληλα στο τζάμι για να σχηματίσει ένα

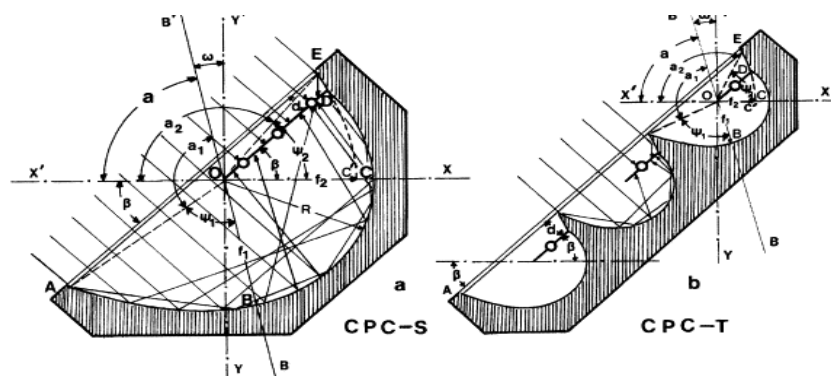
κενό παγίδευσης θερμότητας μεταξύ της ανάστροφης επιφάνειας του απορροφητή και του κυκλικού μέρους του καθρέπτη. Ο καθρέπτης αυτός στοχεύει στην επίτευξη μεγίστου βαθμού απόδοσης και στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών που εισάγονται στο κενό από τις μη απορροφούμενες ακτίνες του ηλίου. Ο καθρέπτης μπορεί να εγκατασταθεί παράλληλα ή κάθετα σε σχέση με τον υαλοπίνακα. Η παράλληλη εγκατάσταση θεωρείται πιο αποτελεσματική όσον αφορά τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη, διότι αυξάνει το ποσοστό της άμεσης απορρόφησης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Η χρήση των κόλουργων καθρεπτών με μεγάλη αντανακλαστικότητα και των επίπεδων απορροφητών με μεγάλο πλάτος σε σχέση με το κενό, μπορεί να καταλήξει σε βαθμό απόδοσης σχεδόν ίσο με αυτόν των επίπεδων συλλεκτών [32]. Το κενό πρέπει να πληρωθεί με μονωτικό έτσι ώστε να αποτραπεί η κυκλοφορία του αέρα. Περαιτέρω μείωση των θερμικών απωλειών μπορεί να επιτευχθεί με χρήση επιλεκτικών επικαλύψεων είτε στην μια είτε και στις δυο επιφάνειες του απορροφητή.

### Δομή

Στο παρακάτω σχήμα, διακρίνουμε δυο είδη συλλεκτών, τον CPC-S και τον CPC-T.

Τα κύρια μέρη και των δυο συλλεκτών είναι ο επίπεδος απορροφητής, ο κύριος καθρέπτης, ο μικρός καθρέπτης στην κορυφή του συλλέκτη, το διαφανές κάλυμμα και η εξωτερική θερμική μόνωση.

Ο επίπεδος απορροφητής του CPC-S αποτελείται από τρεις σειρές από σωλήνες κατάλληλα τοποθετημένους έτσι ώστε να διαμορφώνουν ένα μόνο απορροφητή [32]. Αντιθέτως, στον CPC-T, οι τρεις σειρές σωλήνων αποτελούν τρεις ξεχωριστές μονάδες, συνέπεια του οποίου είναι μικρότερο βάθος συλλέκτη από αυτόν του CPC-S [32].



Σχήμα 1 Συλλέκτες CPC – S και CPC – T

### Ανάλυση

Με βάση το σύστημα συντεταγμένων ΧΟΧ' και ΥΟΥ' σχηματίζονται οι εξής γωνίες:

- $\beta$ , από τον υαλοπίνακα ΑΕ και το παράλληλο σε αυτόν απορροφητή ΟD



- $\omega$ , από τους άξονες BOB' και YOY
- $\psi_1$  η οποία καθορίζει και την γωνία  $\alpha_1$  ( $\alpha_1 = \pi - \psi_1$ )
- $\psi_2$  η οποία καθορίζει την  $\alpha_2$  ( $\alpha_2 = \pi - \psi_2$ )

Οι γωνίες  $\beta$  και  $\omega$  εξαρτώνται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένοι οι συλλέκτες καθώς επίσης και από την εποχή κατά την οποία αυτοί λειτουργούν [32].

Από το σχήμα 1, το πλάτος του απορροφητή είναι

$$W = [OD] (1)$$

και ο βαθμός συγκέντρωσης

$$C = A_a / A_r = [AE] / (2 [OD])$$

όπου

$A_a$  : η διατομή της οπής

$A_r$  : η διατομή της ολικής επιφάνειας.

Το πλάτος και η γωνία  $\beta$  επηρεάζουν τη διαμόρφωση του κενού μεταξύ της επιφάνειας του απορροφητή και του κυκλικού μέρους του καθρέπτη. Μεγάλα μεγέθη αυτών δημιουργούν ένα ικανό μέγεθος κενού το οποίο αντισταθμίζει τις απώλειες μέσω συναγωγής. Ενδεικτικές τιμές των παραπάνω μεγεθών είναι:  $\beta = 40^\circ$ ,  $\omega = 0^\circ$  και  $\alpha = 90^\circ$  για γεωγραφικό πλάτος  $30 - 50^\circ$  [32].

Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από την σχέση

$$n = Q_u / Q_s$$

όπου

$Q_u$  : η ωφέλιμη εισερχόμενη ενέργεια του συλλέκτη κατά το χρονικό διάστημα  $\delta t$

$Q_s$  : η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια πάνω στην διατομή  $A_a$  κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Είναι:

$$Q_u = m * c_{p,w} * (T_0 - T_i)$$

$$m = \Delta m / \Delta t$$

$$Q_s = G * A_a$$

Όπου

$T_0$  : η εισερχόμενη θερμοκρασία του νερού

$T_i$  : η εξερχόμενη θερμοκρασία του νερού

Ο βαθμός απόδοσης καθορίζεται από την παράμετρο

$$\Delta T/G = (T_i - T_a)/G = (T_r - T_a)/G$$

όπου

$T_a$  : η θερμοκρασία περιβάλλοντος

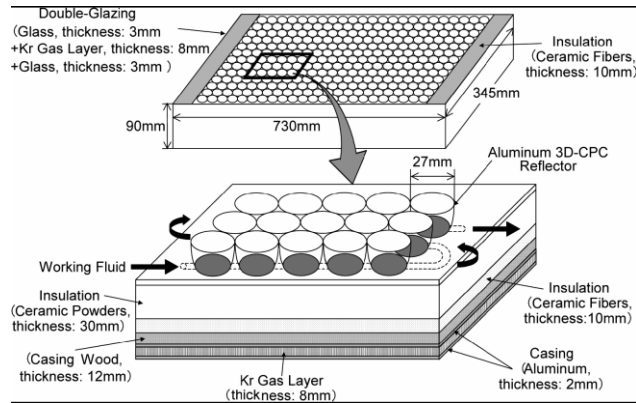
$T_r$  : η μέση θερμοκρασία του απορροφητή.

Γενικά τα μοντέλα CPC έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες. Ο CPC-T συλλέκτης παρουσιάζει τον καλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους υπόλοιπους CPC καθώς επίσης και από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες για  $\Delta T/G > 0.04 \text{ KW-1m}^2$ . Για αυτό ο CPC-T συλλέκτης είναι προτιμότερος για θερμοκρασίες  $T_i$  μεταξύ  $40^\circ$  και  $50^\circ$ . Ο CPC-T συλλέκτης εγκαθίσταται σε οριζόντιο έδαφος και σε στέγες κτιρίων.

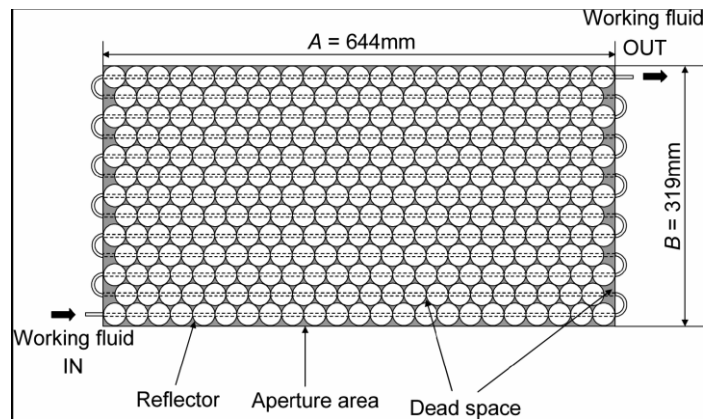
### **2.2.2 Βελτιωμένοι τρισδιάστατοι (3-D) CPC ηλιακοί συλλέκτες**

#### **Γενικά**

Οι τρισδιάστατοι (3-D) CPC ηλιακοί συλλέκτες χαρακτηρίζονται από την εξαιρετική θερμική απόδοσή τους σε υψηλό εύρος θερμοκρασιών της τάξης των  $100 - 200^\circ\text{C}$  [30]. Σε άλλους συλλέκτες για να βελτιωθεί η θερμική απόδοσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες, επικράτησαν λόγοι συγκέντρωσης μεταξύ 1.5 και 2 και συστήματα εντοπισμού. Αντιθέτως, σε αυτό τον τύπο ηλιακών συλλεκτών επικρατούν λόγοι συγκέντρωσης της τάξης των 2 - 5 και δεν υπάρχουν συστήματα εντοπισμού [30]. Στο σχήμα 1 απεικονίζεται ένας 3-D CPC ηλιακός συλλέκτης καθώς και στο σχήμα 2 μια όψη αυτού, στην οποία απεικονίζονται οι ανακλαστήρες και οι σωλήνες απορρόφησης.



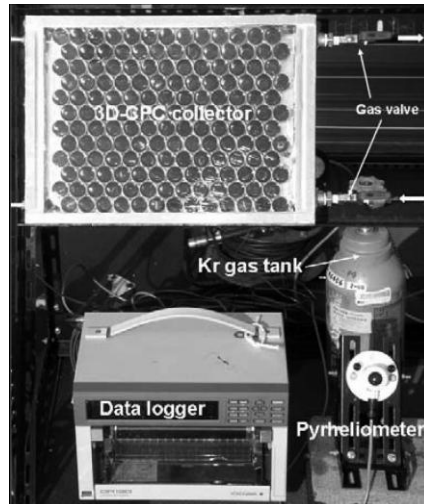
Σχήμα 1 3-D CPC



Σχήμα 2 Ανακλαστήρες και σωλήνες απορρόφησης CPC συλλέκτη

### Δομή

Ο 3-D CPC ηλιακός συλλέκτης χαρακτηρίζεται από την γωνία εισόδου  $\theta_a$  και από τον λόγο  $H_{max}$  ο οποίος καθορίζει την μορφή του συλλέκτη [30]. Για την μελέτη του ηλιακού αυτού συλλέκτη, θεωρούμε δυο διαφορετικούς τύπους, τους Spec-A και Spec-B. Spec-A αποτελείται από διπλό υαλοπίνακα πληρωμένο με αέριο κρύπτον (ολική μετάδοση: 0.8) και επιλεκτικές επιφάνειες απορρόφησης (εκπομπή 0.3) [30]. Από την άλλη, ο Spec-B αποτελείται από ένα μονό μη ανακλώμενο υαλοπίνακα (ολική μετάδοση 0.93) και από εξαιρετική επιλεκτική επιφάνεια απορροφητή (εκπομπή 0.05 στους  $100^\circ\text{C}$ ) [30]. Επιπλέον για να ελαττωθούν οι θερμικές απώλειες του Spec-B συλλέκτη, χρησιμοποιείται μόνωση με θερμική αγωγιμότητα  $0.006 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  [30].



Σχήμα 3 Spec-B ηλιακός συλλέκτης

### Ανάλυση

Ο βαθμός απόδοσης και των δυο τύπων συλλεκτών υπολογίζεται από την σχέση:

$$\eta = m\rho C_p (T_{out} - T_{in}) / I S_c$$

όπου

$T_{in}$  : η θερμοκρασία εισόδου του νερού [K]

$T_{out}$  : η θερμοκρασία εξόδου του νερού [K]

$m$  : η παροχή νερού [l/min]

$\rho$  : η πυκνότητα του νερού [kg/m<sup>3</sup>]

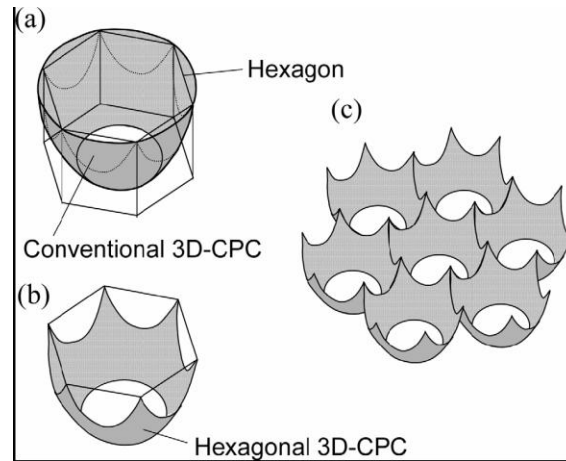
$C_p$  : συντελεστής θέρμανσης του νερού [J/(kg\*K)]

$S_c$  : η διατομή εισόδου του συλλέκτη [m<sup>2</sup>]

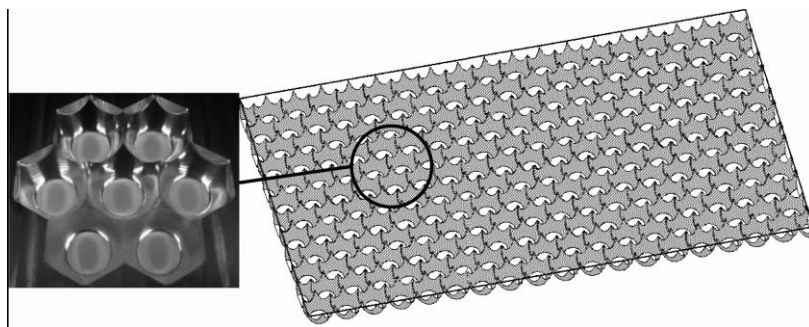
Ο Spec-B έχει καλύτερο συντελεστή απόδοσης από ότι ο Spec-A και ειδικά σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών.

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΕΞΑΓΩΝΙΚΟΣ 3-D CPC ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Στον συμβατικό 3-D CPC ηλιακό συλλέκτη που παρουσιάσαμε παραπάνω παρουσιάζεται ένα σημαντικό μειονέκτημα. Εξαιτίας του κυκλικού σχήματος του ανακλαστήρα, δημιουργείται κενός χώρος στον οποίο δεν απορροφάται ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η περιοχή καταλαμβάνει το 20% της ολικής διατομής εισόδου του συλλέκτη. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με την χρήση του εξαγωνικού 3-D CPC ηλιακού συλλέκτη, ο οποίος έχει την μορφή των σχημάτων 4 και 5:



Σχήμα 4 Εξαγωνικός 3-D CPC συλλέκτης



Σχήμα 5 Εξαγωνικός 3-D CPC συλλέκτης

Υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης από τις παρακάτω σχέσεις[30] :

$$\eta = \alpha \left( (\tau_B \rho_B^{<m>} \chi_{I_B}) + (\tau_D \rho_D^{<m>} \chi_{I_B}) \right) / (I_B = I_D) - \left( (\epsilon_b \chi \sigma T_b^4) + k(T_b - T_a) \right) / \left( (I_B + I_D) \cdot C \right)$$

$$K = K_1 + K_2 = 1 / \left[ \left( 1 / h_w \right) + \left( d_{kr} / \lambda_{kr} \right) \right] + 1 / \left[ \left( 1 / h_w \right) + \left( d_i / \lambda_i \right) \right]$$

$$h_w = 5.7 + 3.8 v$$

όπου

$\alpha$  : η απορροφητικότητα της επιφάνειας

$\tau_B$  : η μετάδοση δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας

$\tau_D$  : η μετάδοση της διάχυτης ακτινοβολίας

$\rho_B^{<m>}$  : ενεργειακή σταθερά για δέσμη ηλιακής ακτινοβολίας

$\rho_D^{<m>}$  : ενεργειακή σταθερά για διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

$I_B$  : η ένταση ηλιακής δέσμης [ W/m<sup>2</sup> ]

$I_D$  : η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας [ W/m<sup>2</sup> ]

$\epsilon_b$  : η σταθερά εκπομπής της επιφάνειας απορροφητή

$\sigma$  : η σταθερά Stefan-Boltzmann, [ W/(m<sup>2</sup>\*K<sup>4</sup>) ]

$T_b$  : η θερμοκρασία απορρόφησης [ K ]

$T_a$  : η θερμοκρασία περιβάλλοντος [ K ]

$h_w$  : ο συντελεστής αγωγιμότητας [ W/(m<sup>2</sup>\*K) ]

$d_{kr}$  : το ύψος του ανακλαστήρα [ m ]

$d_i$  : το πάχος της μόνωσης [ m ]

$\lambda_{kr}$  : ο θερμικός συντελεστής του αερίου κρύπτων [ W/(m\*K) ]

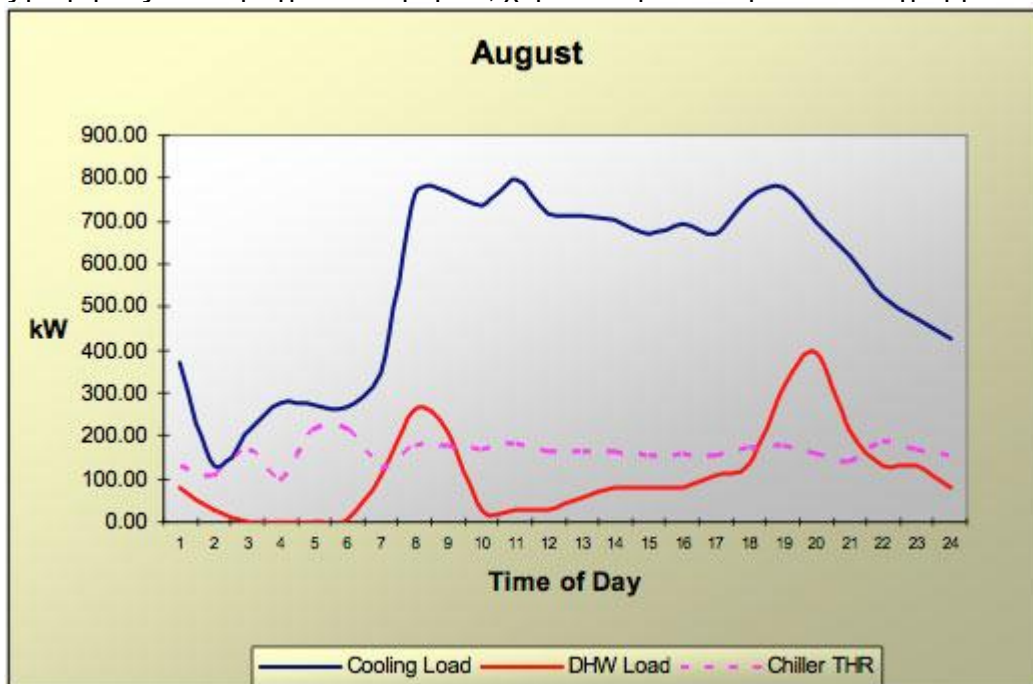
$\lambda_i$  : ο θερμικός συντελεστής της μόνωσης [ W/(m\*K) ]

$v$  : η μέση ταχύτητα του ανέμου [ m/s ]

Επίσης θεωρούμε ότι η θερμοκρασία απορρόφησης ισούται με την θερμοκρασία λειτουργίας:

$$T_m = (T_{in} + T_{out}) / 2 \text{ και είναι περίπου ίση με } 200 \text{ } ^\circ\text{C} [30].$$

Με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, χαράσσουμε το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 8 Εποχιακός βαθμός απόδοσης συλλέκτη

### 3. Παραβολικά πιάτα

#### 3.1 Τυπικό παραβολικό πιάτο

##### Γενικά

Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών αποτελεί το τεράστιο παραβολοειδές πιάτο, το οποίο είναι της μορφής δορυφορικού πιάτου. Σκοπός του αποτελεί η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μόνο σημείο πάνω από το πιάτο, όπου ο δέκτης αιχμαλωτίζει την θερμότητα και την μετατρέπει σε ωφέλιμη μορφή ενέργειας. συνήθως, το πιάτο συνδυάζεται με μια μηχανή Stirling ή και με ατμοπαραγωγό. Το σύστημα αυτό υπερτερεί στο ότι μπορεί να επιτύχει μεγάλες θερμοκρασίες, εξαιτίας του μεγάλου συντελεστή συγκέντρωσης. Ωστόσο, απαιτεί μετακινούμενα μέρη έτσι ώστε να ανιχνεύει την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα η παρουσία της βαριάς μηχανής να καθιστά αναγκαία την στήριξη του συστήματος από ένα στιβαρό πλαίσιο. Τέλος, χρησιμοποιούνται παραβολικοί ανακλαστήρες έναντι επίπεδων, συνέπεια του οποίου είναι ο προσανατολισμός να είναι διπλού άξονα.



Σχήμα 1 Παραβολικό πιάτο

Διασύνδεση συστήματος ηλεκτροπαραγωγής με ηλιακή συγκέντρωση (ΗΗΣ) εγκατεστημένης ισχύος 100KWp στο Ν. Φλώρινας

## 4. Απαιτούμενες διαδικασίες για την υλοποίηση της επένδυσης

### 4.1 Διαδικασίες Αδειοδότησης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Οι διαδικασίες που απαιτούνται για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση όπως προκύπτουν από την υφιστάμενη νομοθεσία διαφέρουν ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος. Διακρίνουμε 4 κατηγορίες: συστήματα  $\leq 20$  kWp, 20-150 kWp, 150-2.000 kWp και  $>2.000$  kWp. Οι προϋποθέσεις για υπαγωγή επενδυτικού σχεδίου στον Αναπτυξιακό νόμο είναι οι εξής:

- Έγκριση Περιβαλλοντικών όρων
- Άδεια παραγωγής ή εξαίρεση
- Προσφορά Σύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού με το Δίκτυο
- Πιστοποιητικό ISO κατασκευαστή
- Άδεια εγκατάστασης (για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος  $>150$  kWp)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδικασίες που απαιτούνται για την υλοποίηση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ τους .



#### 4.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ $\leq 20$ kWp

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
<p>-Άδεια παραγωγής</p> <p>-Άδεια εγκατάστασης</p> <p>-Άδεια λειτουργίας</p> <p>-Εξαίρεση της ΡΑΕ από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά όπου υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της ΡΑΕ</p> <p>-Άδεια δόμησης</p> <p>-Έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον το σύστημα δεν εγκαθίσταται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος</p>	<p>-Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ (στην οποία ζητείται και έγγραφο καταλληλότητας από την Πολεοδομία)</p> <p>-Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΔΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)</p>

Πίνακας 9. Απαιτήσεις για Φ/Β εγκαταστάσεις μικρότερες των 20 kWp

#### 4.1.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ από 20 έως 150 kWp

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Άδεια παραγωγής</li> <li>-Άδεια εγκατάστασης</li> <li>-Άδεια λειτουργίας</li> <li>-Άδεια δόμησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ (στην οποία ζητείται και έγγραφο καταλληλότητας από την Πολεοδομία)</li> <li>-Έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον το σύστημα δεν εγκαθίσταται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού Ενδιαφέροντος</li> <li>-Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)</li> <li>-Εξαίρεση της ΡΑΕ από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά όπου υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της ΡΑΕ</li> </ul>

Πίνακας. Απαιτήσεις για Φ/Β εγκαταστάσεις από 20 kWp έως 150 kWp

#### 4.1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη των 150 kWp

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Άδεια δόμησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Άδεια παραγωγής</li> <li>-Άδεια εγκατάστασης</li> <li>-Άδεια λειτουργίας</li> <li>-Έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον το σύστημα δεν εγκαθίσταται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού Ενδιαφέροντος</li> <li>-Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)</li> </ul>

Πίνακας 11. Απαιτήσεις για Φ/Β εγκαταστάσεις μεγαλύτερες των 150 kWp

### **Χρήσιμες επισημάνσεις**

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος έως 500 κιλοβάτ (kWp) χαρακτηρίζονται ως 'μη οχλούσες δραστηριότητες' (οι μεγαλύτερης ισχύος είναι 'χαμηλής όχλησης') σύμφωνα με την ΚΥΑ της 4-11-2004 (Δ6/Φ1/Οικ.19500). Ως εκ τούτου επιτρέπεται η εγκατάστασή τους σε περιοχές εντός εγκεκριμένων ρυμοτομικών σχεδίων, εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο των 2.000 κατοίκων ή οικισμών προϋφισταμένων του 1923, καθώς και σε εκτός σχεδίου περιοχές. Όσων αφορά την επιλογή του οικοπέδου εγκατάστασης πρέπει να αποφεύγονται οικόπεδα σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας. Τέλος τα φωτοβολταϊκά επιτρέπεται να εγκαθίστανται και σε παραδοσιακούς οικισμούς, ιστορικά τμήματα πόλεων και διατηρητέα κτίρια ύστερα από έγκριση της αρμόδιας ΕΠΑΕ ως προς την ένταξή τους στο χώρο (ΚΥΑ της 4-11-2004, Δ6/Φ1/Οικ.19500).

### **4.2 Διαδικασίες για την υλοποίηση επένδυσης στα Φ/Β συστήματα**

Παραπάνω παρουσιάστηκαν συνοπτικά οι διαδικασίες που απαιτούνται για μια επένδυση στα Φ/Β συστήματα. Αναφέρθηκαν οι επιδοτήσεις οι οποίες δίνονται στους υποψήφιους επενδυτές και οι άδειες οι οποίες χρειάζονται για μια Φ/Β εγκατάσταση ανάλογα της ισχύος της. Στην παράγραφο αυτή θα αναλυθούν τα βήματα τα οποία πρέπει να κάνει κάποιος ώστε να εξασφαλίσει τις απαιτούμενες άδειες από την εκάστοτε αρχή. Σημειώνεται ότι για να ξεκινήσει οποιοσδήποτε επενδυτής την υλοποίηση του επενδυτικού του σχεδίου πρέπει να έχει διευθετήσει όλα τα νομικά θέματα που την αφορούν. Οι απαιτούμενες διαδικασίες κατανέμονται σε 4 φάσεις .

#### **ΦΑΣΗ 1**

Περιλαμβάνει 7 βήματα

1. Επιλογή Μηχανικού , ο οποίος θα συντάξει την τεχνική μελέτη του Φ/Β συστήματος και την τεχνικοοικονομική μελέτη για τη χρηματοδότηση και θα παρακολουθήσει την υλοποίηση της επένδυσης.
2. Αξιολόγηση και προσδιορισμός του χώρου στον οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το Φ/Β σύστημα .
3. Σύσταση εταιρείας και αγορά , εκχώρηση ή ενοικίαση του χώρου της υπό μελέτης εγκατάσταση.
4. Σύνταξη της τεχνικής μελέτης του Φ/Β συστήματος .
5. Συλλογή και αξιολόγηση προσφορών .

6. Σύνταξη και υποβολή φακέλου για τη λήψη άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ, ή εξαίρεση άδειας παραγωγής αν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη των 150 kWp .
7. Λήψη της σχετικής άδειας από τη ΡΑΕ .

## **ΦΑΣΗ 2**

Περιλαμβάνει 5 βήματα

1. Αίτηση προς τη ΔΕΗ, συνοδευόμενη από τεχνική μελέτη , για τον προσδιορισμό των όρων σύνδεσης με το δίκτυο.
2. Αίτηση και έκδοση άδειας εγκατάστασης από την αρμόδια Περιφέρεια, αν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μεγαλύτερη των 150 kWp.
3. Σύνταξη και υποβολή μελέτης Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) στην αρμόδια ΔΙΠΕΧΩ , για εγκατεστημένη ισχύ 20 – 150 kWp .
4. Αίτηση για έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων ( ΕΠΟ ) στην αρμόδια ΔΙΣΑ, αν η εγκατεστημένη ισχύς είναι 20 – 150 kWp.
5. Σύνταξη τεχνικοοικονομικής μελέτης για την χρηματοδότηση σύμφωνα με τον επενδυτικό νόμο 3299/2004 .

## **ΦΑΣΗ 3**

Περιλαμβάνει 5 βήματα

1. Έγκριση περιβαλλοντικών Όρων .
2. Υπογραφή σύμβασης με την ΔΕΗ για τη σύνδεση του Φ/Β συστήματος με το δίκτυο .
3. Υπογραφή σύμβασης πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος με τον ΔΕΣΜΗΕ ή την ΔΕΗ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά .
4. Έγκριση προτεινόμενου επιχειρηματικού σχεδίου για την χρηματοδότηση από τον επενδυτικό νόμο .
5. Προμήθεια και έναρξη κατασκευής του Φ/Β συστήματος .

#### **ΦΑΣΗ 4**

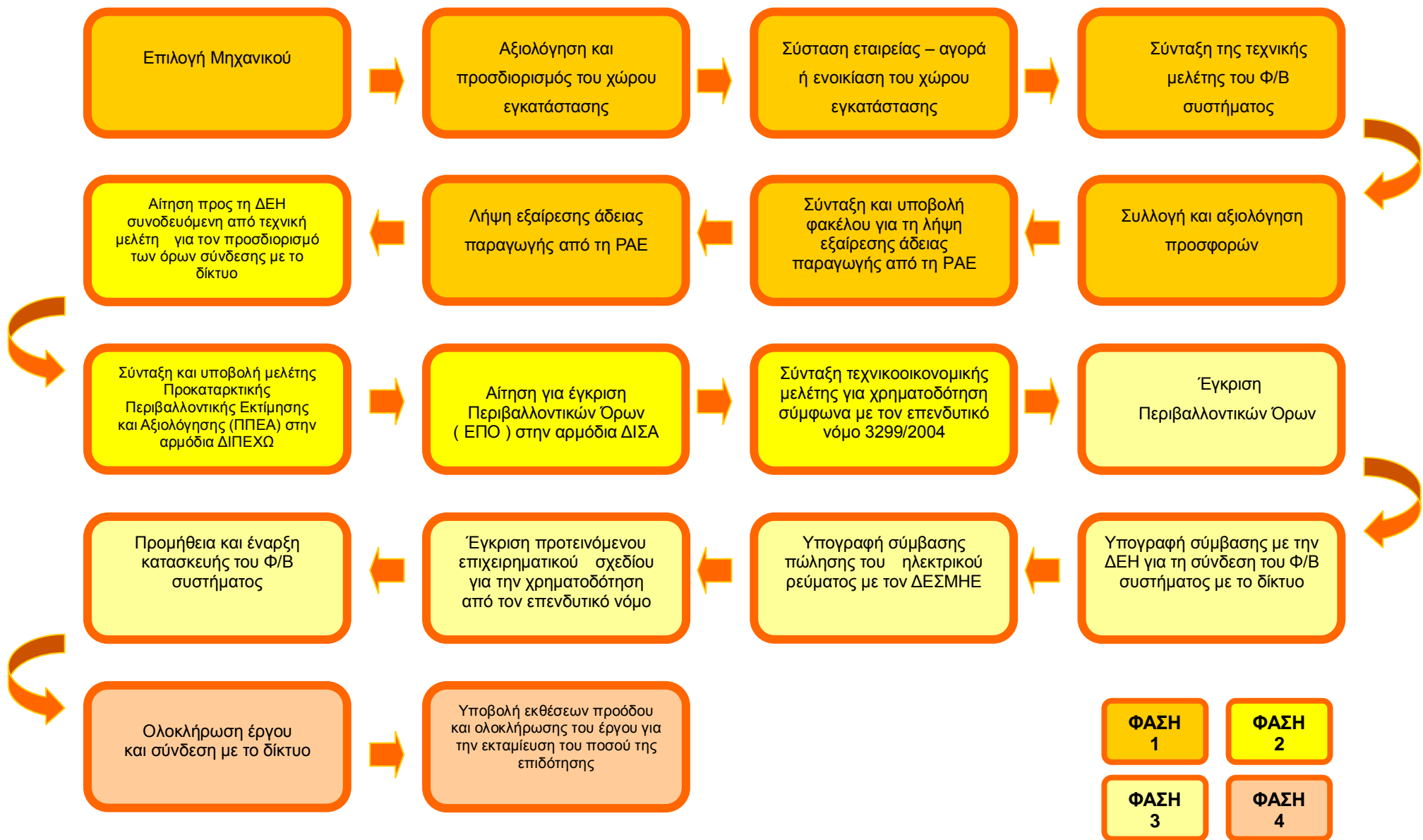
Περιλαμβάνει 3 βήματα

1. Ολοκλήρωση έργου και σύνδεση με το δίκτυο .
2. Έλεγχος τήρησης των τεχνικών όρων της εγκατάστασης και έκδοση άδειας λειτουργίας από την αρμόδια Περιφέρεια , αν η εγκατεστημένη ισχύς είναι άνω των 150 kWp.
3. Υποβολή εκθέσεων προόδου και ολοκλήρωσης του έργου για την εκταμίευση του ποσού της επιδότησης.

#### **4.3 Απαιτούμενες διαδικασίες για την υλοποίηση Φ/Β συστήματος με παραβολικά κάτοπτρα 100 KW**

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραγράφους που αναφέρονται στη σχετική νομοθεσία για την πραγματοποίηση επενδύσεων στα Φ/Β συστήματα, θα καταγραφούν οι διαδικασίες που πρέπει να γίνουν για την προς μελέτη εγκατάσταση . Η εγκατάσταση θα γίνει στην ευρύτερη περιοχή του Ν. Φλώρινας και θα έχει ισχύ 100 KW. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα θα αποτυπωθούν όλες οι ενέργειες που πρόκειται να γίνουν από τη στιγμή της έναρξης του επενδυτικού σχεδίου μέχρι τη σύνδεση της εγκατάστασης στο δίκτυο και την πώληση της παραγόμενης ενέργειας.

Στο σχεδιάγραμμα είναι ευδιάκριτες οι 4 φάσεις που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.2 καθώς επίσης και το κάθε βήμα της εκάστοτε φάσης. Η ανάλυση κάθε βήματος θα γίνει σε ξεχωριστά κεφάλαια και θα αναλυθούν τα οικονομικά και τεχνικά στοιχεία όπου κριθεί απαραίτητο.



Σχεδιάγραμμα 1. Διαδικασίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με κυρτά κάτοπτρα 100 KW



#### **4.4 Αδειοδοτική διαδικασία του επενδυτικού σχεδίου**

Το κομμάτι της αδειοδοτικής διαδικασίας μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη (φάκελους) οι οποίοι θα πρέπει να κατατεθούν στις αρμόδιες υπηρεσίες διαδοχικά. Ο κάθε φάκελος έχει το δικό του κόστος και παράλληλα τη δική του πιθανότητα να μη γίνει δεκτός από την όποια αρμόδια υπηρεσία. Αν οποιοσδήποτε από τους φακέλους δε γίνει αποδεκτός η διαδικασία διεκπαιρέωσης του επενδυτικού προγράμματος σταματά αυτόματα, καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα παράκαμψης αυτού του εμποδίου.

Ο πρώτος φάκελος αφορά την εξαίρεση λήψης άδειας παραγωγής και κατατίθεται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Το περιεχόμενο και οι προδιαγραφές της αίτησης αυτής καθορίζονται από τον κανονισμό αδειών παραγωγής, από τον οδηγό αξιολόγησης αιτήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και συμπαραγωγή (ΣΗΘ). Η γνωμοδότηση της ΡΑΕ αναμένεται να δοθεί σε 3 μήνες.

Ο δεύτερος φάκελος αφορά την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων για τους οποίους τηρείται μια αυστηρά καθορισμένη διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης (ΠΠΕΑ). Ο συγκεκριμένος φάκελος κατατίθεται και εξετάζεται από τη διεύθυνση περιβάλλοντος χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας περιφέρειας. Για την έκδοση της παραπάνω έγκρισης απαιτούνται, ανάλογα με την επένδυση, γνωμοδοτήσεις που παρέχουν αποκλειστικά οι ακόλουθες υπηρεσίες και φορείς.

- Το αρμόδιο Δασαρχείο
- Η αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία
- Οι αρμόδιες Υπηρεσίες προϊστορικών και κλασικών αρχαιοτήτων, οι Εφορείες Βυζαντινών αρχαιοτήτων και οι Εφορείες νεότερων μνημείων
- Ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος
- Η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας
- Το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας
- Ο Ελληνικός Οργανισμός Τουρισμού

Η έγκριση περιβαλλοντικών όρων είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία καθώς αναμένεται να διαρκέσει από 4 έως 8 μήνες ανάλογα με τις δυσκολίες που πιθανόν να προκύψουν.

Ο τρίτος φάκελος αφορά την ένταξη της υπό μελέτης επένδυσης στον Αναπτυξιακό Νόμο 3299/2004 και εξετάζεται από την τοπική περιφέρεια με την βοήθεια του ΥΠΕΧΩΔΕ. Ο φάκελος

που αφορά την ένταξη στον Αναπτυξιακό Νόμο κατατίθεται αφού γίνουν αποδεκτοί οι δύο προηγούμενοι φακέλοι και είναι το τελευταίο σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας αδειοδότησης το οποίο θα πρέπει να διεκπεραιωθεί πριν ξεκινήσει το τεχνικό κομμάτι της επένδυσης. Αναμένεται να διαρκέσει 1 έως 3 μήνες ανάλογα με το φόρτο εργασίας της τοπικής περιφέρειας.

Η σύνταξη και κατάθεση του κάθε φακέλου εμπεριέχει έξοδα, καθώς ο υπεύθυνος μηχανικός θα ασχοληθεί διεξοδικά με τον κάθε φάκελο ώστε να κάνει μια ολοκληρωμένη και άρτια πρόταση στην όποια υπεύθυνη Υπηρεσία. Παρακάτω δίνονται αναλυτικά τα κόστη σύνταξης και κατάθεσης του κάθε φακέλου.

ΦΑΚΕΛΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
ΕΞΑΙΡΕΣΗ ΛΗΨΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	1.000
Π.Π.Ε.Α	1.500
ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΝΟΜΟ	1.000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3500</b>

Πίνακας Κόστος σύνταξης και κατάθεσης φακέλων

#### 4.5 Λοιπές διαδικασίες

Πέρα των παραπάνω αδειών που πρέπει να λάβουμε, υπάρχουν και ορισμένες ακόμα διαδικασίες οι οποίες πρέπει να γίνουν σε διάφορα χρονικά σημεία της υλοποίησης της επένδυσης. Οι διαδικασίες αυτές είναι εξίσου σημαντικές και θα εξασφαλίσουν την ομαλή πορεία του επενδυτικού σχεδίου. Έτσι λοιπόν πρέπει να γίνουν τα εξής :

**Σύσταση εταιρείας** η οποία θα γίνει με την κατάθεση των απαραίτητων δικαιολογητικών στο Πρωτοδικείο και η έγκριση αναμένεται να ολοκληρωθεί εντός 2 εβδομάδων. Εκτιμώμενο κόστος **300 €**.

**Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ** η οποία γίνεται με την υποβολή αίτησης στη ΔΕΗ και διαρκεί περίπου μια εβδομάδα. Η χρονική στιγμή υποβολής της αίτησης γίνεται παράλληλα με την



υποβολή των δικαιολογητικών για την ένταξη στον Αναπτυξιακό Νόμο και σε καμιά περίπτωση νωρίτερα . Εκτιμώμενο κόστος **1500 €** .

**Σύμβαση αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ** η οποία θα γίνει με την κατάθεση των απαραίτητων δικαιολογητικών μόλις ολοκληρωθεί η σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ. Η διαδικασία αναμένεται να ολοκληρωθεί σε 2 εβδομάδες.

## 5. Χωροταξικά δεδομένα της εγκατάστασης

### 5.1 Επιλογή του χώρου εγκατάστασης

Η επιλογή της γης και όλων των παραμέτρων που σχετίζονται με αυτή, η "γεωγραφία" δηλαδή ενός Φωτοβολταϊκού σταθμού είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν όχι μόνο την αποδοτικότητα της επένδυσης από οικονομικής πλευράς αλλά και τους χρόνους και τις διαδικασίες που θα απαιτηθούν για την υλοποίησή της.

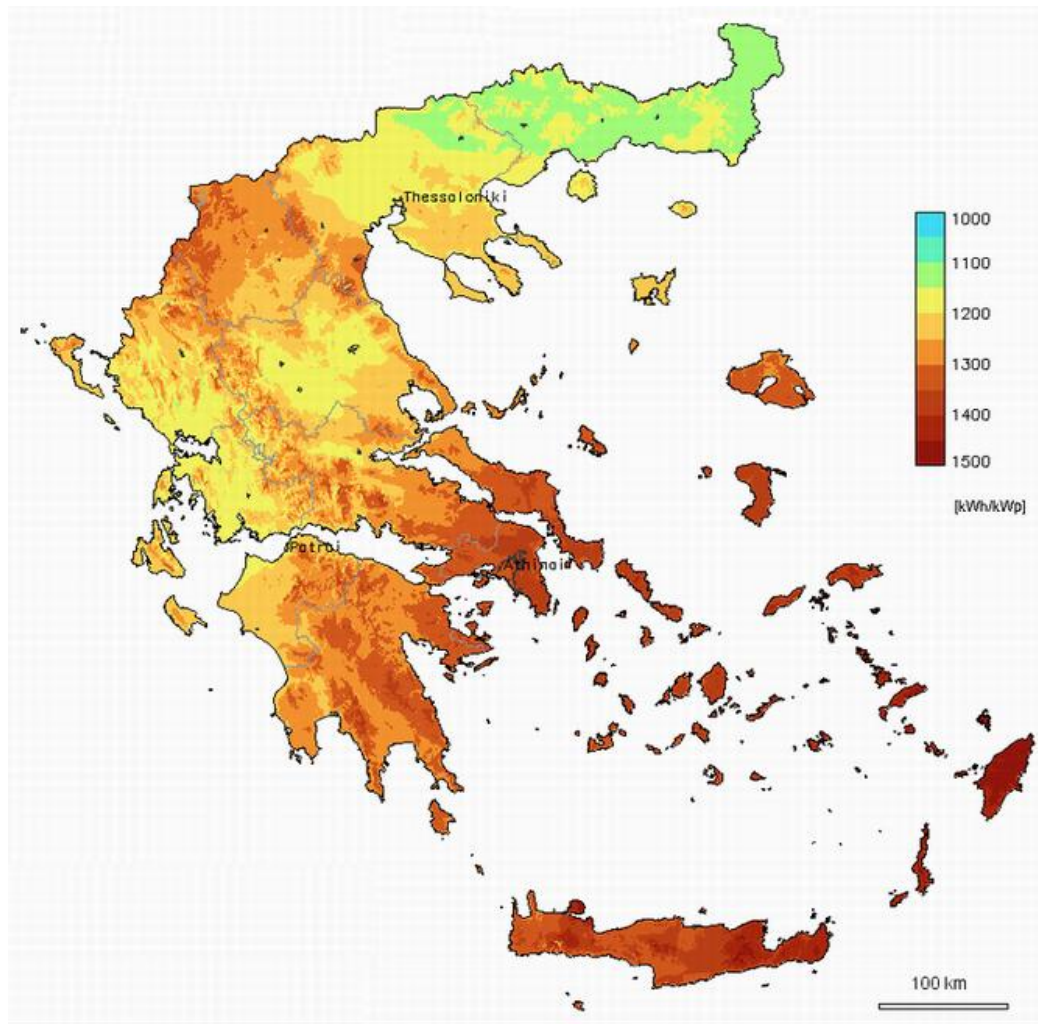
Τα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο σημείο στο οποίο θα εγκατασταθεί ο Φωτοβολταϊκός σταθμός, είναι τα εξής:

- ↻ Το οικόπεδο να είναι ασκίαστο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας
- ↻ Ο προσανατολισμός του οικοπέδου να είναι νότιος
- ↻ Η κλίση του οικοπέδου να μην είναι ιδιαίτερα μεγάλη
- ↻ Θα πρέπει να επιλέγονται τοποθεσίες με υψηλή ηλιοφάνεια, διότι έτσι αυξάνεται η παραγωγικότητα της Φωτοβολταϊκής μονάδας σε κιλοβατώρες (KWp) και μεγιστοποιείται η οικονομική του αποδοτικότητα
- ↻ Να υπάρχει εύκολη πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης της ΔΕΗ
- ↻ Να αποφεύγεται η επιλογή οικοπέδων σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας
- ↻ Να αποφεύγονται περιοχές του εθνικού καταλόγου που έχουν προταθεί για ένταξη στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο NATURA 2000 και σε περιοχές RAMSAR γνωστή και ως «Συμφωνία επί των Διεθνούς ενδιαφέροντος Υγροτόπων».
- ↻ Να αποφεύγονται επιλογή οικοπέδων σε Εθνικούς δρυμούς, παραδοσιακούς οικισμούς και περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος
- ↻ Το οικόπεδο στο οποίο θα εγκατασταθεί ο Φωτοβολταϊκός σταθμός θα πρέπει στην περίπτωση που δεν είναι ιδιόκτητο, να είναι διαθέσιμο για όλη τη διάρκεια της οικονομικής ζωής του έργου (τουλάχιστον 20 χρόνια).

### 5.2 Ηλιακό δυναμικό της θέσης εγκατάστασης

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις

1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β συστήματα.



Σχήμα Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β συστήματα.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το Νότο έως και 45° είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση.

Η σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία της εγκατάστασης. Συνήθως επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι γύρω στις 30°.

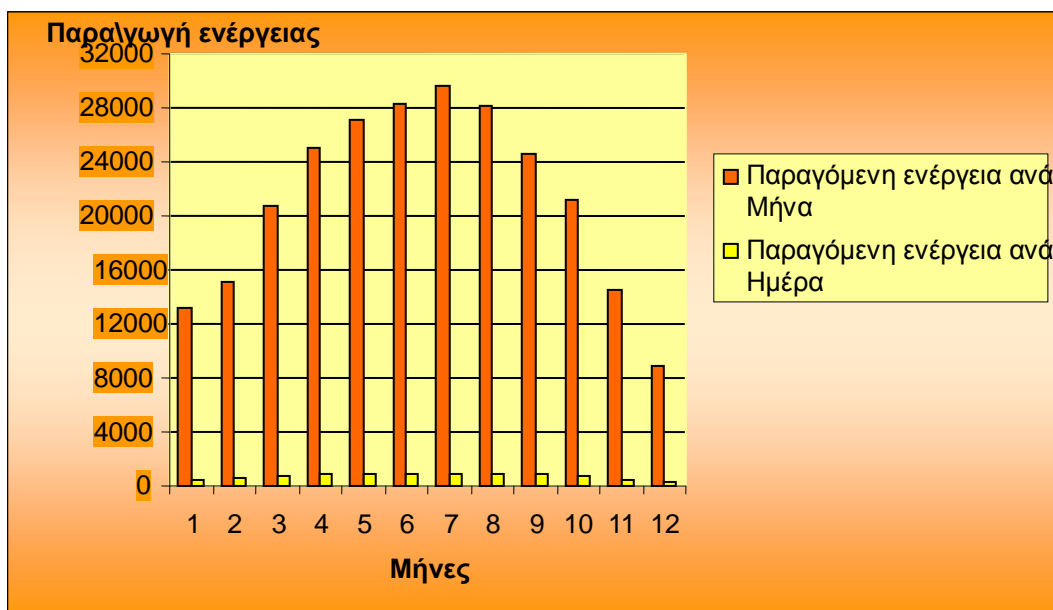
Οι αποδόσεις των Φ/Β ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση τους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0 °	30 °	90 °
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

Πίνακας. Απόδοση φωτοβολταϊκών σε διάφορες κλίσεις και προσανατολισμούς

Για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη και ακριβή άποψη για το ηλιακό δυναμικό της περιοχής όπου θα γίνει η εγκατάσταση μας, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό εργαλείο PVGIS (**Photovoltaic Geographical Information System**) το οποίο αποτελεί μια βάση δεδομένων που συνδυάζει γεωγραφικά, μετεωρολογικά και ηλιακής ακτινοβολίας δεδομένα. Παρέχει χωρική διακριτική ικανότητα 100 m, γεγονός που οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ειδικά σε ορεινές περιοχές όπου ο ακριβής υπολογισμός των σκιάσεων έχει μείζονα σημασία. Το συγκεκριμένο εργαλείο είναι φιλικό στη χρήση, προσφέρεται δωρεάν και είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/pvest.php?en=&europa=> . Σύμφωνα λοιπόν με το παραπάνω εργαλείο η βέλτιστη κλίση η οποία πρέπει να έχουν τα Φ/Β πλαίσια είναι 32°. Επίσης για την εγκατάσταση μας η οποία θα χρησιμοποιεί Φ/Β από πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο και θα έχει συνολική ισχύ 100 KW αναμένεται να υπάρχουν απώλειες

της τάξης του 14% . Η ετήσια παραγωγή ενέργειας της εγκατάστασης μας υπολογίζεται να είναι 256370 kWh. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η εκτιμώμενη ημερήσια και μηνιαία παραγωγή ενέργειας .



Γράφημα 1. Εκτιμώμενη ημερήσια και μηνιαία παραγωγή ενέργειας σε kWh

Η ημερήσια και μηνιαία παραγωγή ενέργειας καθώς επίσης και η συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μήνες	Παραγωγή ανά μήνα	Παραγωγή ανά ημέρα
Ιανουάριος	13134	424
Φεβρουάριος	15144	540
Μάρτιος	20730	668
Απρίλιος	25084	828
Μάιος	27142	876
Ιούνιος	28224	940
Ιούλιος	31684	958
Αύγουστος	30124	908
Σεπτέμβριος	26562	818
Οκτώβριος	23198	684
Νοέμβριος	16454	482
Δεκέμβριος	10880	286
<b>Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια (kWh/KW)</b>	<b>20682</b>	<b>702</b>
<b>Συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια(kWh)</b>	<b>256370</b>	

Πίνακας. Παραγωγή ενέργειας από Φ/Β εγκατάσταση ισχύος 100 KW

Όπως βλέπουμε λοιπόν η ετήσια παραγωγή ενέργειας θα ανέλθει στις 256370 kWh. Σύμφωνα λοιπόν με την τιμή της παραγόμενης κιλοβατώρας που είναι 0,125 €/ kWh , τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας θα είναι ετησίως **32'046 €** .

### 5.3 Αγορά και διαμόρφωση χώρου εγκατάστασης

Για την υλοποίηση του έργου πρέπει να αγοραστεί ένα αγροτεμάχιο το οποίο θα πληροί τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 6.1. Από έρευνα αγοράς που έγινε στην περιοχή του Νομού Φλώρινας και σύμφωνα με τους δείκτες που αφορούν την αξία εδαφών από την Διεύθυνση Γεωργικής Ανάπτυξης της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας η αξία ξηρικών εδαφών μειονεκτικών περιοχών κυμαίνεται από 300 έως 350 € ανά στρέμμα. Η έκταση του αγροτεμαχίου που θα αγοραστεί θα είναι 5 στρέμματα. Είναι επαρκής μια τέτοια έκταση για την συγκεκριμένη επένδυση και επίσης επιτρέπει την μελλοντική επέκταση της εγκατάστασης. Θα υποθέσουμε ότι το κόστος αγοράς του αγροτεμαχίου θα ανέλθει στα 400 € ανά στρέμμα.

Οι κατασκευαστικές εργασίες (εκτός της εγκατάστασης παραγωγικού εξοπλισμού) οι οποίες θα πρέπει να γίνουν είναι η κατασκευή τσιμεντένιων βάσεων (θεμελίωση) πάνω στις οποίες θα ακουμπήσουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, η συναρμολόγηση των συστημάτων στήριξης και η περίφραξη του χώρου. Η θεμελίωση και η συναρμολόγηση των συστημάτων στήριξης θα γίνει από την εταιρεία που θα μας προμηθεύσει τον τεχνολογικό εξοπλισμό. Η περίφραξη του χώρου θα γίνει και αυτή από συνεργείο το οποίο θα το προτείνει η ίδια εταιρεία . Είναι σημαντικό οι τσιμεντένιες βάσεις να μην προεξέχουν από το ύψος στο οποίο βρίσκεται το χώμα του οικοπέδου, καθώς σε περίπτωση που οι βάσεις εξέχουν ακόμα και 2 εκατοστά του μέτρου, είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας. Τα κόστη για την αγορά και τη διαμόρφωση του χώρου εγκατάστασης του έργου συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
ΑΓΟΡΑ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ 5 ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	2'000
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	5'000
ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ(300 ΜΕΤΡΑ)	4'000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>11'000</b>

Πίνακας. Κόστος αγοράς και διαμόρφωσης του χώρου εγκατάστασης

## 6. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

### 6.1 Κριτήρια επιλογής εξοπλισμού

Ο στόχος της μελέτης των τεχνολογικών και μηχανολογικών θεμάτων είναι να καθορισθούν όλες οι τεχνικές δραστηριότητες και απαιτήσεις του επενδυτικού προγράμματος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά και παρουσίαση της απαραίτητης τεχνολογίας, του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού καθώς επίσης και των βοηθητικών εξοπλισμών προκειμένου να λειτουργήσει η μονάδα παραγωγής Η/Ε από φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Όσον αναφορά το πρόγραμμα παραγωγής, η εγκατάσταση θα παράγει Ηλεκτρική Ενέργεια όλες τις ημέρες του χρόνου και χωρίς να υπάρχει ανάγκη διαχωρισμού του εικοσιτετραώρου σε βάρδιες καθώς δεν είναι απαραίτητη η παρουσία ανθρώπινου δυναμικού. Με βάση αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να γίνει η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας και του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού.

Η τεχνολογία και η τεχνογνωσία που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας συμπεριλαμβάνονται στο πακέτο αγοράς του παραγωγικού εξοπλισμού. Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί επιλέγεται βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

- ⊙ **Να επιτρέπει την επίτευξη της αναμενόμενης ετήσιας δυναμικότητας**
- ⊙ **Να είναι τελευταίας γενιάς, αλλά και δοκιμασμένη**
- ⊙ **Να δίνει τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης**
- ⊙ **Να μην υπάρχει δυσκολία κατανόησης και χειρισμού της από το όποιο ανθρώπινο δυναμικό**
- ⊙ **Η σχέση κόστους ωφέλειας να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη**
- ⊙ **Η διαδικασία συντήρησης να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή και λιγότερο πολυέξοδη**

Μια πολύ καλή επιλογή που συνδυάζει όλα τα παραπάνω είναι να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά πάνελ από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο τα οποία θα δώσουν την καλύτερη δυνατή σχέση κόστους – ωφέλειας .

Σε μια επένδυση η οποία έχει χρονικό ορίζοντα 20 έως 30 χρόνια, η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού (ηλιακοί συλλέκτες, καλωδίωση, αντιστροφείς, πρόσθετος εξοπλισμός, κ.α.) είναι καθοριστικός παράγοντας για να εξασφαλισθεί η μακροχρόνια λειτουργία και η αποδοτικότητα του Φωτοβολταϊκού σταθμού.

Υπάρχουν βασικά κριτήρια τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του προμηθευτή του παραγωγικού εξοπλισμού, εκτός των οικονομικών κριτηρίων:

- Προτιμώνται κατασκευαστές προϊόντων οι οποίοι έχουν την έδρα τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση ή στην Ιαπωνία (χώρες στις οποίες τηρούνται αυστηρές προδιαγραφές και γίνονται συχνοί έλεγχοι)
- Τα προϊόντα θα πρέπει να διαθέτουν όλα τα απαιτούμενα πιστοποιητικά (EMC, EN, CE κ.λ.π)
- Η ημερομηνία κατασκευής των ηλιακών συλλεκτών θα πρέπει να είναι πρόσφατη διότι τα πάνελ έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής η οποία αρχίζει από την ημερομηνία κατασκευής τους
- Τα συστήματα στήριξης των συλλεκτών προτιμάται να είναι βαρέως τύπου και να διαθέτουν εγγύηση η οποία να καλύπτει όλη την περίοδο της επένδυσης
- Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα σε περίπτωση αγοράς εξοπλισμού από εργοστάσια τα οποία έχουν την έδρα τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ότι πρόκειται για ενδοκοινοτική συναλλαγή, η οποία απαλλάσσεται του Φ.Π.Α

Μετά από έρευνα αγοράς που διενεργήθηκε με προσωπικές συνομιλίες και συλλογή πληροφοριών από φυλλάδια και δικτυακούς χώρους, επιλέχθηκε η προμήθεια του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού να γίνει από την εταιρεία Solar Millennium AG. Η εταιρεία έχει πολλά έργα στο ενεργητικό της (όλων των μεγεθών) τα οποία ήδη είναι σε λειτουργία και παράλληλα διαθέτει δικά της τεχνικά συνεργεία τα οποία είναι πιστοποιημένα από το εργοστάσιο παραγωγής του εξοπλισμού.

Η τεχνολογία θα αποκτηθεί μέσω της ολικής εξαγοράς της μαζί με το μηχανολογικό εξοπλισμό και όλα τα δικαιώματα χρησιμοποίησης της.



## 6.2 Μηχανολογικός και ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Παρακάτω θα δοθούν αναλυτικά πίνακες, οι οποίοι θα παρουσιάζουν τον εξοπλισμό της μονάδας παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ο εξοπλισμός αυτός έχει διαχωριστεί σε κατηγορίες οι οποίες βοηθούν στην κατανόηση του ρόλου που παίζει το κάθε μέρος του εξοπλισμού. Οι τρεις κύριες κατηγορίες στις οποίες έχει διαχωριστεί ο εξοπλισμός είναι

1. Ο κύριος παραγωγικός εξοπλισμός
2. Ο βοηθητικός παραγωγικός εξοπλισμός
3. Ο εξοπλισμός εξυπηρέτησης

### 6.2.1 Κύριος παραγωγικός εξοπλισμός

Ο κύριος παραγωγικός εξοπλισμός αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της επένδυσης μας. Ο παραγωγικός εξοπλισμός αποτελείται από 500 Φ/Β πάνελ ονομαστικής ισχύος 200 W τα οποία θα τοποθετηθούν πάνω στα ειδικά διαμορφωμένα στηρίγματα με κλίση τέτοια ώστε να επιτύχουμε τη μέγιστη απόδοση . Μεταξύ τους θα συνδέονται με καλώδια DC. Θα υπάρχουν κυτία προστασίας από υπέρταση τα οποία θα συνδέονται με καλώδια DC με τα Φ/Β πάνελ. Στο σύστημα θα υπάρχουν μετατροπείς συνεχόμενου-εναλλασσόμενου ρεύματος (Inverters) οι οποίοι θα συνδέονται με καλώδια AC με τον πίνακα χαμηλής τάσης. Το σύστημα θα διαθέτει αντικεραυνική προστασία και θα είναι γειωμένο. Όλος ο εξοπλισμός ο οποίος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα θα τοποθετηθεί από τεχνικούς της εταιρείας.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΕΜΑΧΙΑ
Φωτοβολταϊκά panel 200 Watt (Solar Millennium AG)	500
Σύστημα Στήριξης (STG 1000)	20
Κεντρικοί μετατροπείς εναλλασσόμενου ρεύματος (SunTechnics STZ 110)	1
Κυτίο διασύνδεσης με προστασία υπέρτασης και τηλεέλεγχο	2
Κεντρικό κυτίο διασύνδεσης με προστασία υπέρτασης	1
Καλώδια DC για σύνδεση Φ/Β panel	

μεταξύ τους και με τους inverters	
Καλώδια AC για σύνδεση inverters με πίνακα χαμηλής	
Καλώδιο DATA για σύστημα τηλεπαρακολούθησης	
Γειώσεις – Αντικεραυνική προστασία	
Ολοκληρωμένος πίνακας χαμηλής τάσης με προστασία υπέρτασης και σύνδεση με το μετρητή της ΔΕΗ	1
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	
<b>500´000 €</b>	

Πίνακας. Κόστος και παρουσίαση του κύριου παραγωγικού εξοπλισμού

### 6.2.2 Βοηθητικός εξοπλισμός

Ο βοηθητικός εξοπλισμός αναφέρεται σε συστήματα παρακολούθησης της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων. Ο έλεγχος της εγκατάστασης γίνεται μέσω ενός βασικού τμήματος του εξοπλισμού, το οποίο ονομάζεται SunReader και είναι της εταιρείας Conergy. Το σύστημα SunReader επιτρέπει τον βολικό και ασφαλή έλεγχο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος όταν σε αυτόν οι αντιστροφείς (inverters) είναι της εταιρείας Conergy . Αν υπάρξει οποιαδήποτε ένδειξη μείωσης της απόδοσης του συστήματος, αυτή καταγράφεται από το SunReader και αυτομάτως αναφέρεται μέσω γραπτού μηνύματος σε κινητό τηλέφωνο, e-mail ή και fax στον όποιο υπεύθυνο ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισης της κατάστασης. Μια ακόμα λειτουργία του SunReader είναι η καταγραφή των στοιχείων λειτουργίας του συστήματος και η διαβίβαση τους σε συγκεκριμένη ιστοσελίδα του διαδικτύου ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Πρόσβαση σε αυτά τα στοιχεία έχουν οι υπεύθυνοι της μονάδας μέσω κωδικού. Ακόμη το SunReader αποθηκεύει τα στοιχεία ώστε σε βάθος χρόνου να μπορούν να παραχθούν χρήσιμα γραφήματα της απόδοσης. Ο βοηθητικός εξοπλισμός παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΕΜΑΧΙΑ
SunReader	1
Data logger	1
Μετρητής ενέργειας	1
Αισθητήρας θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας	1
Modem	1
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b> <b>8'000 €</b>	

*Πίνακας. Κόστος και παρουσίαση του βοηθητικού εξοπλισμού*

### 6.2.3 Εξοπλισμός εξυπηρετήσεως

Ο εξοπλισμός εξυπηρετήσεως αναφέρεται σε εξοπλισμό μηχανογράφησης της εταιρείας, σε κάποια πυροσβεστικά μέσα και σε ειδικά διαμορφωμένες κατασκευές που θα προστατεύουν τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα της εγκατάστασης. Συνοπτικά θα αποτελείται από :

1. Προκατασκευασμένο κουβούκλιο εντός του οποίου θα τοποθετηθούν οι Inverters, οι πίνακες διανομής και οι συσκευές ελέγχου και παρακολούθησης για προστασία από τις καιρικές συνθήκες
2. Εξοπλισμός γραφείου, Η/Υ-πολυμηχάνημα
3. Μέτρα Πυρόσβεσης
4. Διάφορα (εργαλεία καθαρισμού κ.α.)

### 6.2.4 Συνολικό κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Το συνολικό κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που περιλαμβάνει τον κύριο εξοπλισμό, τον βοηθητικό εξοπλισμό και τον εξοπλισμό εξυπηρέτησεως, συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Κύριος εξοπλισμός	500'000
Βοηθητικός Εξοπλισμός	8'000
Εξοπλισμός Εξυπηρέτησεως	5'500
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	
<b>513'500 €</b>	

*Πίνακας. Κόστος Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού*

### 6.2.5 Συντήρηση εξοπλισμού

Η συντήρηση του παραγωγικού εξοπλισμού έχει αναληφθεί από την εταιρεία που έχει αναλάβει την κατασκευή του Φωτοβολταϊκού πάρκου με κόστος **1'000 (€) ανά έτος**. Στο συμβόλαιο συντήρησης περιλαμβάνεται τακτική παρακολούθηση του συστήματος (ακόμα και όταν δεν παρουσιάζεται πρόβλημα) και αντικατάσταση οποιουδήποτε ανταλλακτικού παρουσιάζει δυσλειτουργία.

### 6.2.6 Ασφάλιση επένδυσης

Η ασφάλιση της επένδυσης αναλαμβάνεται και αυτή από την εταιρεία που έχει αναλάβει την κατασκευή του Φωτοβολταϊκού πάρκου με κόστος **1'000 (€) ανά έτος**. Η ασφάλιση περιέχει ολική ασφάλιση κατά παντός κινδύνου (φωτιά, θεομηνία, κακόβουλη ενέργεια κλπ.), αλλά και ασφάλιση της απόδοσης (εγγύηση σε ποσοστό 90% των προδιαγεγραμμένων εσόδων για χρονική διάρκεια 10 ετών)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “A study on the performance of a two-absorber reverse flat plate collector”  
V.K Goel, Ram Chandra, B.C Raychaudhuri  
Indian Institute Of Technology
- [2] “Performance of suspended flat plate air heater”  
V. Ranjan, N.K Dhiman, G.N Tiwari  
Indian Institute Of Technology
- [3] “Efficiency improvement of flat plate solar air heaters”  
Ho-Ming Yeh, Tong-Tshien Lin  
Department Of Chemical Engineering, Taiwan
- [4] “Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors.”  
M. Augustus Leon, S. Kumar  
Asian Institute Of Technology, Thailand
- [5] “A high performance porous flat plate solar collector”  
F.L. Lansing , V. Clarke  
Jet Propulsion Laboratory, USA
- [6] “Performance of a black liquid flat-plate solar collector”  
John E. Minardi, Henry N. Chuang  
University Of Dayton, USA.
- [7] “A water-trickle solar collector”  
E. Tasdemiroglu, A. GURSOY  
Middle East Technical University, Ankara, Turkey
- [8] “The water-trickle ceramic solar collector”  
Ali A. Badran  
Umm Al Qura University, Saudi Arabia  
203
- [9] “Comparison study for three types of solar collectors for water heating”  
K.K. Matrawy, I.Farkas  
University Of Agricultural Science, Hungary
- [10] “Analysis and design of a novel flat plate solar collector”  
A.Tamimi  
Yarmouk University, Jordan
- [11] “Thermal performance of a cylindrical solar collector”  
Ali A. Badran  
Umm Al Qura University, Saudi Arabia
- [12] “Analysis of a Flat-plate Solar Collector”  
Fabio Struckmann  
Lund University, Sweden
- [13] “Flat Plate Solar Collectors”  
Washington State University Energy Program
- [14] “The performance of a cylindrical solar water heater”  
Hussainal-Madani  
University Of Bahrain
- [15] “Theoretical flow for investigations of an all glass evacuated tubular collector”  
Louise Jivan Shah, Simon Furbo  
Technical University Of Denmark

- [16] “Vertical evacuated tubular-collectors utilizing solar radiation from all directions”  
Louise Jivan Shah, Simon Furbo  
Technical University Of Denmark
- [17] “Optimisation of evacuated tubular solar collector arrays with diffuse reflectors”  
S.P. Chow, G.L. Harding, Yin Zhiqiang  
University Of Sidney, Australia  
204
- [18] “Theoretical and experimental investigation of heat pipe solar collector”  
E. Azad  
Iranian Research Organization, Tehran, Iran
- [19] “Developing a theoretical model to investigate thermal performance of a thin membrane heat-pipe solar collector”  
S.B.Riffat, X. Zhao, P.S. Doherty  
The University Of Nottingham, UK
- [20] “An experimental study of a co-axial heat pipe solar collector”  
E. Azad, F Moztarzadeh  
Materials And Energy Research Center, Tehran, Iran
- [21] “Heat pipe research and development in the U.S.S.R.”  
L. L. Vasiliev  
Academy Of Sciences, Minsk, U.S.S.R.
- [22] “Experimental investigation of the transient thermal performance of a bent heat pipe with grooved surface”  
J. Wang  
North Wyke Research, Devon, U.K.
- [23] “Design, optimization and conversion – efficiency determination of a line – focus parabolic – trough solar collector (PTC)”  
G.C. Bacos, I. Ioannidis, N.F. Tsagas, I. Seftelis  
Democritus University Of Thrace, Xanthi, Greece
- [24] “Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver”  
K. Ravi Kumar, K.S. Reddy  
Indian Institute Of Technology Madras, Chennai, India
- [25] “Performance analysis of a parabolic trough solar collector with a porous absorber receiver”  
Eric W. Grald  
Honeywell Corporate Systems Development Division, U.S.A.  
205
- [26] “Optimized compact secondary reflectors for parabolic troughs with tubular absorbers”  
Spirkl, Ries, MuschaWeck, Timinger  
Ludwig-Maximilians University, Munchen, Germany  
Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland
- [27] “ICS solar systems with horizontal (E – W) and vertical (S – N) cylindrical water storage tank”  
Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis  
Physics Department, University of Patras, Greece
- [28] “Integrated collector storage solar systems with asymmetric CPC reflectors”  
Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis  
Physics Department, University of Patras, Greece
- [29] “Experimental study of CPC type ICS solar systems”  
Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis

Physics Department, University of Patras, Greece

[30] “Advanced 3-D CPC solar collector for thermal electric system”

Takeo S. Saitoh, Jun Kato, Noboro Yamada

Graduate School of Environmental Studies

Tohoku University, Japan

[31] “CPC type integrated collector storage systems”

Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis

Physics Department, University of Patras, Greece

[32] “CPC solar collectors with flat bifacial absorbers”

Y. Tripanagnostopoulos, P. Yianoulis, S. Papaefthimiou, S. Zafeiratos

Physics Department, University of Patras, Greece

[33] “Solar ICS systems with two cylindrical storage tanks”

Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis, Th. Nousia

Physics Department, University of Patras, Greece

206

[34] “ICS solar systems with two water tanks”

Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis

Physics Department, University of Patras, Greece

[35] “Solar thermal collectors and applications”

S. Kalogirou

Cyprus University of Technology, Cyprus

[36] “Θερμικά – Ηλιακά συστήματα” Μέρος πρώτο

Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

[37] “Solar ‘Tower Reflector’ Systems: A new approach for high – temperature solar plants”

A. Yogev, A. Kribus, M. Epstein, A. Kogan

Environmental Sciences and Energy Research Department, Israel

[38] “A mini size low cost heliostat system”

Harry L. Gerwin

Gerwin Research Inc., U.S.A.

[39] “Comparative performances of ‘tower – top’ and ‘tower – reflector’ central solar receivers”

A. Segal, M. Epstein

Solar Research Facilities Unit, Israel

[40] “A multistage solar receiver: the route to high temperature”

A. Kribus, P. Doron, R. Ruben, J. Karni, R. Reuven, S. Duchan, E. Taragan

Environmental Sciences and Energy Research Department, Israel

[41] “An analysis of the terminal concentrator concept for solar central receiver systems”

K. Athavaley, F. Lipps, L. Vant – Hull

Solar Energy Laboratory, University of Houston, U.S.A.

207

[42] “The TROF (Tower Reflector with Optical Fibers): A new degree of freedom for solar energy systems”

O. Zik, J. Karni, A. Kribus

Environmental Sciences and Energy Research Department, Israel

[43] “The development of stretched – membrane heliostats in the United States”

D. J. Alpert, R. M. Houser, A. A. Heckes, W. W. Erdman

Sandia National Laboratories, U.S.A.

[44] “Dynamic characteristics of stretched – membrane heliostats”  
C. Y. Tuan, A. Al – Einea  
Department of Civil Emgineering, University of Nebraska – Lincoln, U.S.A.