

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΑΡΙΘΜΟΣ 1201**

# **ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:  
ΚΑΠΛΑΤΖΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:  
ΓΙΑΝΝΟΥΤΣΟΣ ΗΛΙΑΣ  
ΒΛΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης βιογραφικής έρευνας σε θέματα όπως η ηλιακή ενέργεια, η φωτοβολταϊκή μετατροπή, η διασύνδεση στο δίκτυο κ.α... Ελπίζω να είναι έστω και μια ελάχιστη συμβολή στην ενίσχυση και εξάπλωση των Α.Π.Ε, ζήτημα πλέον καθοριστικής σημασίας για την σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναντίλεκτα στις μέρες μας, η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται επιτακτική όσο ποτέ άλλοτε. Η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή υλοποιείται με την βοήθεια των γνωστών πλέον σε όλους φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, στηριζόμενα στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο λαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία παράγουν στην έξοδο τους ηλεκτρική ενέργεια με την μορφή συνεχούς ισχύος. Τα τελευταία χρόνια, στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και ειδικά σε αυτές που παρουσιάζουν μεγάλη ηλιοφάνεια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν επιδεχθεί μεγάλη βελτίωση και σε αυτά παρατηρείται ραγδαία κ συνεχής ανάπτυξη. Το θέμα της πτυχιακής αναφέρει κυρίως τις διαδικασίες και τις τεχνικές που χειριζόμαστε ώστε να καταφέρουμε να βελτιώσουμε την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Κάνουμε μια εισαγωγή στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο το οποίο συντελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το φωτοβολταϊκό στοιχείο και το πάνελ, επίσης τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, το γεωγραφικό πλάτος, το αζιμούθιο καθώς και τη γωνία πρόσπτωσης. Κεντρικό σημείο της αναφοράς μας έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχουν κάποιοι παράγοντες, εξωτερικοί και εσωτερικοί, που είναι συνυπεύθυνοι για την απόδοσή τους, όπως είναι: οι μεταβολές της θερμοκρασίας, οι ηλεκτρικές απώλειες λόγω της χρήσης καλωδίων, η επίδραση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και οι φθορές που δέχονται τα πλαίσια με τη πάροδο του χρόνου. Εν συνεχεία χρησιμοποιούμε εξειδικευμένες τεχνικές για τη μείωση αυτών των παραγόντων και κατά συνέπεια την ορθή και βέλτιστη απόδοση των Φ/Β στοιχείων. Επιπροσθέτως γίνεται εκτενέστερη περιγραφή των τεχνικών αυτών και των υλικών κατασκευής που χρησιμοποιούνται. Κύρια μέθοδος για την αποδοτικότητα των Φ/Β είναι οι τρόποι ψύξης, οι οποίοι διακρίνονται σε ψύξη με εξάτμιση και η υδρόψυξη (άμεση ψύξη). Ωστόσο γίνεται επίσημη αναφορά της περιγραφής του λειτουργικού συστήματος παρακολούθησης του ήλιου που διεξάγεται μέσω αισθητήριων οργάνων. Το σύστημα όμως αποτελείται από το μηχανολογικό τμήμα που καθορίζεται κυρίως από τον άξονα των πλαισίων και τον τρόπο στήριξής τους, το ηλεκτρολογικό τμήμα το οποίο καθορίζεται από τα μοτέρ και τους διακόπτες κίνησης καθώς και το ηλεκτρονικό τμήμα που συντελείται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα και τα αισθητήρια στοιχεία. Τέλος, καταλήγουμε ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας ως ανανεώσιμης πηγής καινοτομεί στο χώρο αυτό, αν και δεν είναι τόσο γνωστή στο ευρύ κοινό, μελλοντικά με τη γνωστοποίησή της μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα κερδοφόρα και να ανοίξουν οι ορίζοντες για περαιτέρω χρήσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την διευκόλυνση και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΟ ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2 Χαρακτηριστικά ημιαγωγών .....	2
1.2.1 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών .....	2
1.2.2 Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου) .....	3
1.2.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας .....	3
1.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	4
1.3.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο .....	4
1.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	5
1.3.3 Φωτοβολταϊκό πάνελ.....	5
1.3.4 Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	5
1.3.5 Γεωγραφικό πλάτος.....	5
1.3.6 Αζιμούθιο ( $\gamma$ ) & Γωνία πρόσπτωσης.....	6

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

2.1 Τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου.....	7
2.2 Τεχνολογία λεπτού φιλμ.....	8
2.3 Είδη ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των Φ/Β .....	9
2.3.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.....	10
2.3.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	10
2.3.3 Ταινία πυριτίου.....	11
2.3.4 Άμορφο πυρίτιο .....	11
2.3.5 Θειούχο κάδμιο.....	11
2.3.6 Αρσενιούχο γάλλιο .....	12
2.3.7 Τελουριούχο κάδμιο.....	12
2.4 Απόδοση ημιαγωγών .....	12
2.5 Άλλοι τύποι κυψελών.....	13
2.5.1 Συγκεντρωτικό φωτοβολταϊκών.....	13
2.5.2 Εύκαμπτες ηλιακές κυψέλες.....	13
2.5.3 Τα φωτοηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία.....	14

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

3.1 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ακτινοβολίας.....	15
3.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη.....	15
3.3 Συνδεσμολογία Φ/Β συστοιχίας – Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών.....	16
3.4 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	16
3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών.....	17

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΡΟΠΟΙ ΨΥΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

4.1 Ψύξη με εξάτμιση.....	20
---------------------------	----

4.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα συγκέντρωσης (CPV).....	21
4.1.1.1 Κατηγορίες των ΦΒ συστημάτων συγκέντρωσης.....	24
4.1.2 Σωλήνες θερμότητας.....	24
4.1.3 Κατασκευαστικά στοιχεία των σωλήνων θερμότητας.....	25
4.1.3.1 Υλικά σωλήνων θερμότητας.....	25
4.1.3.2 Ρευστά λειτουργίας βάση των υλικών του σωλήνα θερμότητας.....	26
4.1.3.3 Σχεδίαση συστημάτων σωλήνων θερμότητας.....	26
4.1.4 Εξάρτηση της παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της κλίσης του CPV.....	27
4.2 Μέθοδος υδρόψυξης (Άμεση ψύξη).....	28
4.2.1 Εισαγωγή στα υβριδικά ΦΒ συστήματα νερού.....	29
4.2.1.1 Βασικές διατάξεις ΦΒ/Θ συλλεκτών νερού.....	29
4.2.2 Συμπεριφορά ΦΒ/Θ συλλέκτη σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.....	32
4.2.3 Περιορισμοί και παραδοχές υβριδικών ΦΒ/Θ συστημάτων.....	34

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

5.1 Απαιτήση για κίνηση σε δύο κατευθύνσεις .....	36
5.2 Το πρωτότυπο συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και τα βασικά τμήματα του.....	36
5.3 Αρχή λειτουργίας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου μαζί με τη Φ/Β πλάκα.....	38
5.4 Το μηχανολογικό τμήμα.....	38
5.4.1 Η Βάση .....	39
5.4.2 Το σύστημα του κατακόρυφου άξονα.....	40
5.4.3 Το σύστημα του οριζόντιου άξονα .....	44
5.4.4 Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου.....	45
5.4.5 Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων .....	45
5.5 Το ηλεκτρολογικό τμήμα.....	46
5.5.1 Τα δυο μοτέρ.....	46
5.5.2 Οι τέσσερις τερματικοί διακόπτες .....	46
5.6 Το ηλεκτρονικό τμήμα .....	47
5.6.1 Οι αισθητήρες του φωτός .....	47
5.6.2 Το ηλεκτρονικό κύκλωμα.....	48
5.7 Απόδοση της κατασκευής υπό συνθήκες συννεφιάς.....	49
5.8 Απόδοση της κατασκευής υπό συνθήκες ηλιοφάνειας.....	50
5.9 Κατανάλωση κινητήρων – καθαρή απόδοση του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου.....	51
5.10 Ερμηνεία της μικρής απόδοσης σε σχέση με το σταθερό της Φ/Β κλίσης 52°.....	52
5.11 Εκτίμηση του κέρδους της κατακόρυφης κίνησης και οριζόντιας κίνησης.....	52
5.12 Ανατολή και Δύση – Το μεγαλύτερο κέρδος στην απόδοση .....	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Το λεξιλόγιο των φωτοβολταϊκών

### 1.1 Εισαγωγή

Οι όλο και μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας οδηγούν συνεχώς σε μια τεράστια αύξηση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Οι ανάγκες αυτές αναμένεται να αυξηθούν ακόμη περισσότερο με την αύξηση του πληθυσμού της Γης και η ζήτηση πλέον θα υπάρχει κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς στις ανεπτυγμένες, με τα μέτρα εξοικονόμησης που εφαρμόζονται, υπάρχει μια τάση σταθεροποίησης. Τα βασικά προβλήματα λοιπόν (θα) είναι:

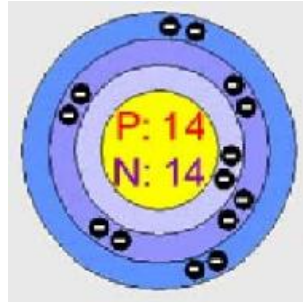
- Η διαφαινόμενη έλλειψη καυσίμων σε μερικά χρόνια (σύμφωνα με τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις, τα γνωστά αποθέματα πετρελαίου, μαζί με αυτά που πιθανόν να ανακαλυφθούν φθάνουν μετά βίας γι' ακόμη 30 χρόνια) και τα απαράδεκτα παιχνίδια εταιρειών κλπ. με τις τιμές του πετρελαίου, που ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει γίνει το μόνιμο πρόβλημα στην ζωή εκατομμυρίων νοικοκυριών ανά τον κόσμο.
- Η αλλαγή του κλίματος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου (λόγω της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων), που οδηγούν αργά, αλλά σταθερά τον πλανήτη στην καταστροφή. Συγκεκριμένα, κάθε KWh ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με 1kg τουλάχιστον CO<sub>2</sub>(συν τις πάσης φύσεως άλλες επικίνδυνες ουσίες, όπως καρκινογόνα μικροσωματίδια, οξείδια αζώτου, ενώσεις θείου κλπ., που επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον).

Με την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να βοηθήσουμε στην λύση και των δύο παραπάνω προβλημάτων:

- Παράγουμε καθαρή και ανεξάντλητη ενέργεια από τον ήλιο, χωρίς την μεσολάβηση ρυπογόνων, θορυβωδών εγκαταστάσεων και μάλιστα δωρεάν (μετά το κόστος εγκατάστασης). Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει πάνω στην Γη μας, είναι παγκοσμίως 1,54X10<sup>18</sup> KWh/έτος, δηλ. περίπου 15.000 φορές περισσότερη από την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας ανά έτος. Θεωρητικά θα έφθανε μόνο το 0,01% της ενέργειας αυτής για να καλύψουμε τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες.
- Μειώνουμε τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στον πλανήτη, άρα συμβάλουμε στην επιβράδυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Να σημειώσουμε εδώ, ότι 1 KW Φ/Β το οποίο παράγει στην Ελλάδα κατά μέσο όρο 1300 KWh το χρόνο, αποτρέπει την έκλυση 1450kg CO<sub>2</sub>, όσο δηλ. απορροφούν ετησίως 2 στρέμματα δάσους ή 100 δέντρα.

## 1.2 Χαρακτηριστικά ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό θα επικεντρωθούμε σε αυτό.



Εικόνα 1.1 Δομή του πυριτίου.

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα τα οποία έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι “γενικά” συμπληρωμένη με  $8 e^-$ ) ψάχνουν άλλα άτομα προκειμένου να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

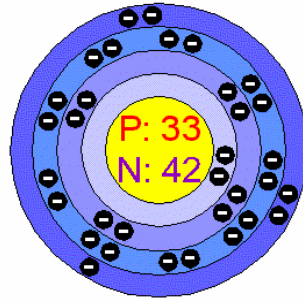
Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα την οποία έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι το οποίο ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

### 1.2.1 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

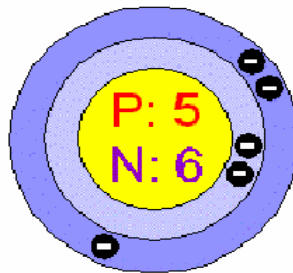
Τις ημιαγωγές ιδιότητες το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στη στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό, είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p), είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n).

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με  $5e^-$  στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As).



Εικόνα 1.2 Δομή του αρσενίου.

Αντίστοιχα, για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p ή αλλιώς ένας θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e<sup>-</sup> στην εξωτερική του στοιβάδα.



Εικόνα 1.3 Δομή του βορίου.

### 1.2.3 Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο, δημιουργείται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών, το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών αποτελεί το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και τη βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

### 1.2.4 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη Φ/Β κελιού περνούν αδιατάραχτα την τύπου n και χτυπούνε τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και

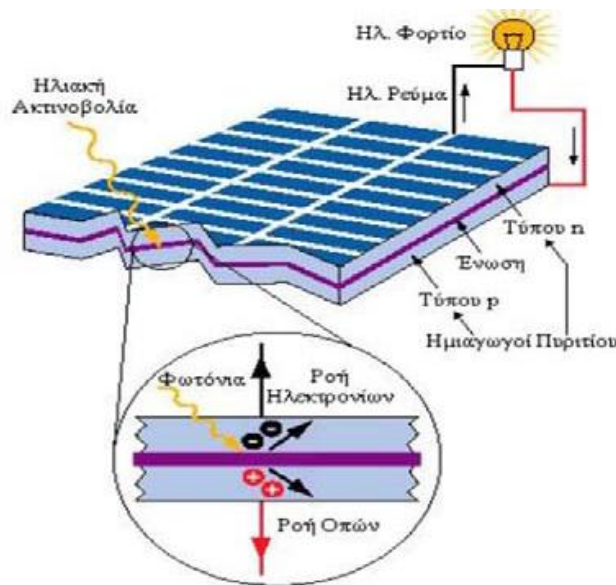


κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου, όπου και έλκονται, από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι δυνατόν να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων τα οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω μέρος της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

### 1.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε συντομογραφία Φ/Β για τη λέξη <<Φωτοβολταϊκό>> (Photovoltaic – PV).



Εικόνα 1.4 Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

#### 1.3.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμη Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη.

### 1.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

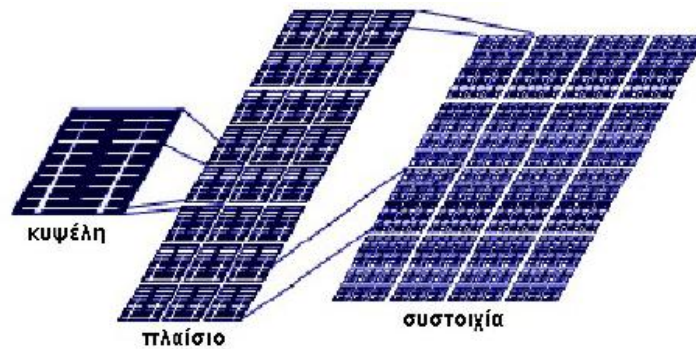
Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας.

### 1.3.3 Φωτοβολταϊκό πάνελ

Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια που έχουν προκατασκευασθεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση.

### 1.3.4 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

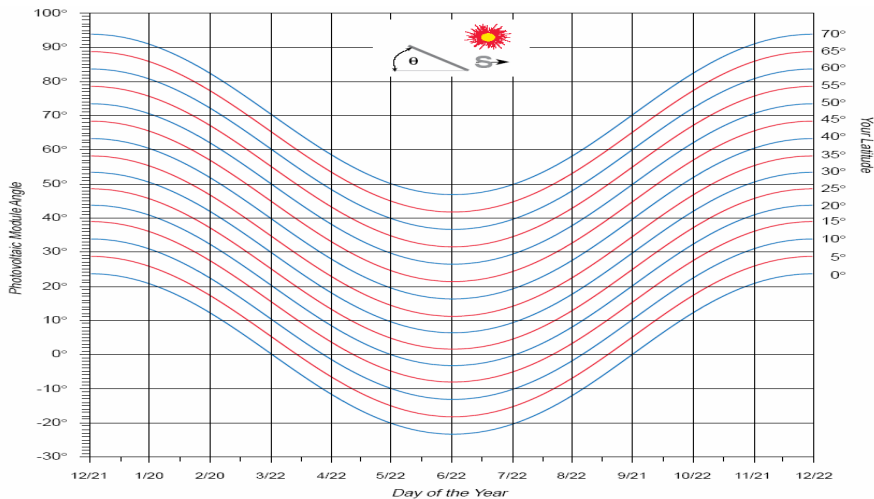
Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης



Εικόνα 1.5 Η κυψέλη, το πλαίσιο και μια Φ/Β συστοιχία

### 1.3.5 Γεωγραφικό πλάτος

Είναι ένα από τα δυο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει τη γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με μίρες.

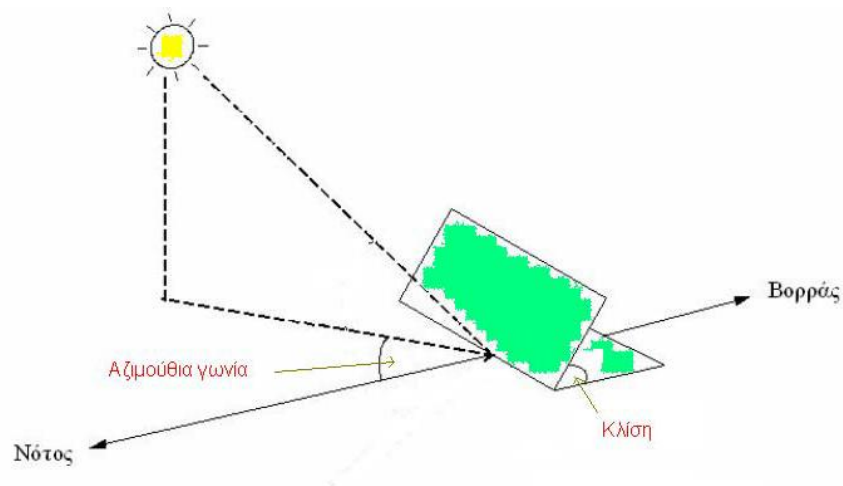


**Εικόνα 1.6** Βέλτιστη γωνία ( $\theta$ ) Φ/Β πλαισίων ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου

### 1.3.6 Αζιμούθιο ( $\gamma$ ) & Γωνία πρόσπτωσης

Αζιμούθιο είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά – νότου. Το αζιμούθιο είναι: **1)** Για νότιο προσανατολισμό  $\gamma=0$ . **2)** Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνουμε θετικές τιμές και **3)** για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.

Γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα του ήλιου με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης (Φωτοβολταϊκό πάνελ), από την οποία και μετράται.



**Εικόνα 1.7** Αζιμούθια γωνία και η κλίση του φωτοβολταϊκού

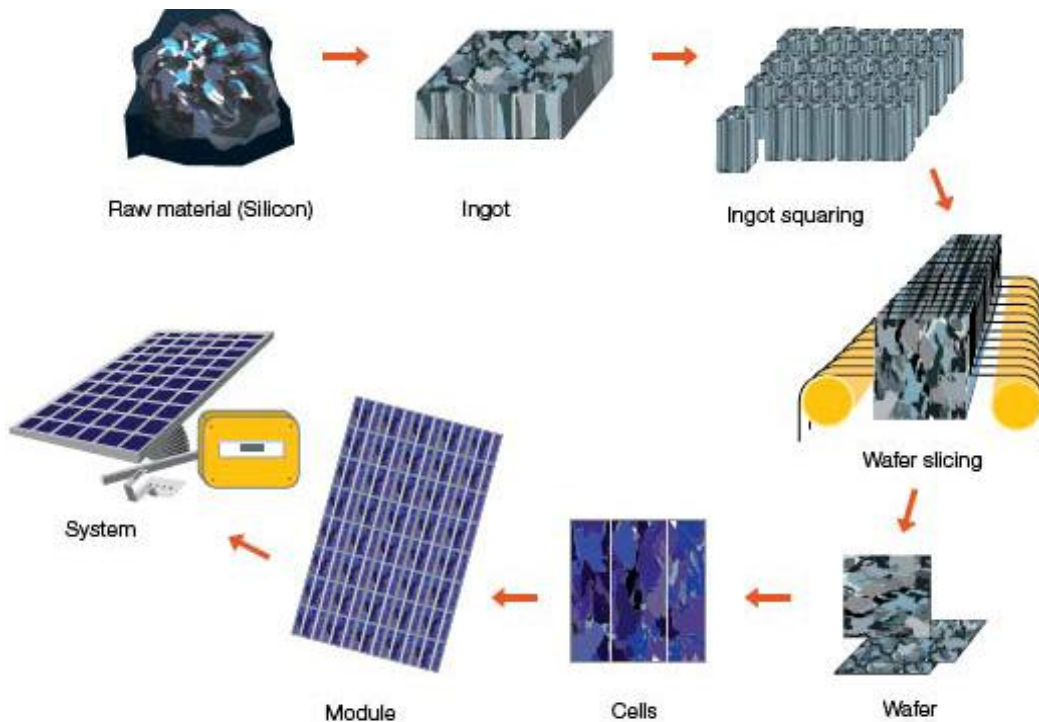
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υπάρχουσα Φ/Β τεχνολογία και αξιολόγηση ημιαγωγών

### 2.1 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. 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 2.1** διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού πυριτίου

Όσο αφορά τη τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου, οι κυψέλες που κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 12 και

17% . Ενώ το μερίδιο αγοράς αυτής της τεχνολογίας είναι 90%. Τα βασικά είδη της τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου είναι:

- Μονοκρυσταλλικό (sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικό (mc-Si)
- Ταινίας πυριτίου (Ribbon sheets c-Si)



**Εικόνα 2.2** Εργοστάσιο παραγωγής Φ/Β πλαισίων

## 2.2 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 υμένιων εγκλείονται σε ερμητικά σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Βασική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η επίστρωση 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.



**Εικόνα 2.3** Η τεχνολογία λεπτού υμένιου

Τα στοιχεία από λεπτά υμένα 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:

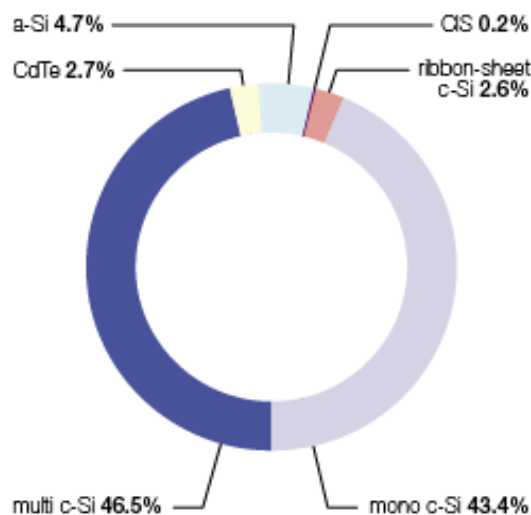
- άμορφο πυρίτιο (a-Si)
- τελουριούχο κάδμιο (CdTe).
- Δισελινιούχο Ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIS, CIGS)
- Θειούχο κάδμιο(CdS)
- Αρσενιούχο γάλλιο(GaAs)

### 2.3 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:

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

**β)** Παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες. Για παράδειγμα τα Φ/Β συστήματα σε διαστημόπλοιο με τροχιά προς το Δία, λειτούργησαν ικανοποιητικά με συνθήκες 50 W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασία -120<sup>o</sup> C. Σε ένα άλλο, επίγειο, παράδειγμα, τα Φ/Β πλαίσια έδειξαν να αντέχουν στις κορυφές των βουνών και με ταχύτητα ανέμων πάνω από 100Km/h ή κοντά σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον, όπως της θάλασσας . Η θεωρητική απόδοση του πυριτίου μπορεί να φτάσει το 23.92%



**Εικόνα 2.4** Μερίδια της τεχνολογίας κυψελών το 2006.

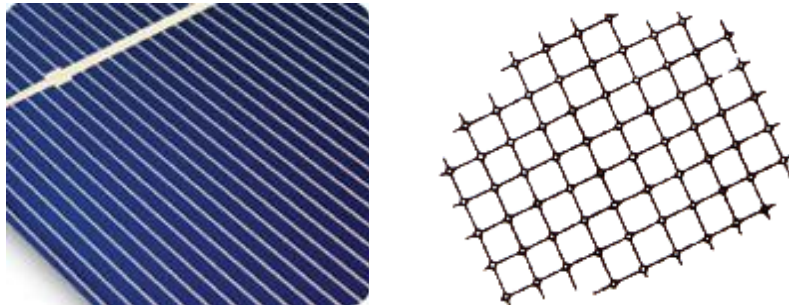
Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν περίπου το 90% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών . Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β

λεπτών υμένιων , όπως το άμορφο πυρίτιο, το Τελουριούχο κάδμιο και ο δισηλινούχο Ινδικό χαλκό.

### 2.3.1 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.

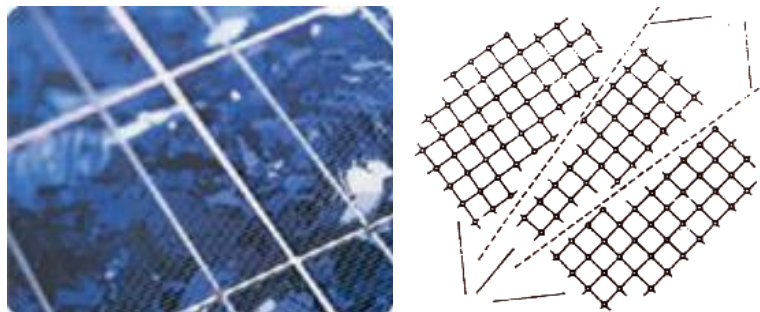
Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις αναφέρονται στις προσπάθειες που γίνονται για τη μείωση της ανακλαστικότητας σε επίπεδα μικρότερα του 10% που ισχύει σήμερα. Το σύνηθες αντανακλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου είναι το  $TiO_2$



Εικόνα 2.5 α)Δομή Κρυσταλλικού πυριτίου- β) κυψέλη κρυσταλλικού πυριτίου

### 2.3.2 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%.



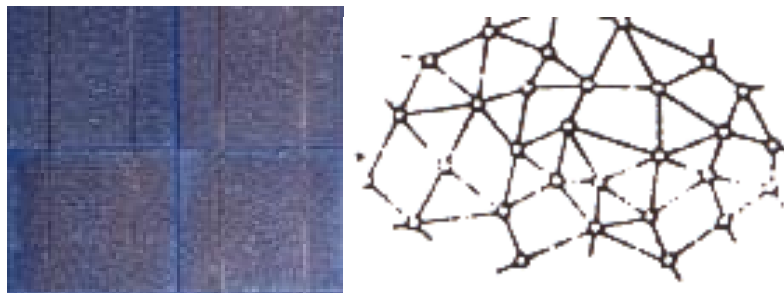
Εικόνα 2.6 α)Δομή πολυκρυσταλλικού πυριτίου- β) κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου

### 2.3.3 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.

### 2.3.4 Άμορφο πυρίτιο

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



**Εικόνα 2.7** α) Δομή άμορφου πυριτίου- β) κυψέλη άμορφου πυριτίου

Το άμορφο πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Συμβολίζεται με  $\alpha$ -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%. Η βιομηχανική απόδοση του είναι 7%.

### 2.3.5 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  $\text{Cu}_2\text{S}$  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.

### 2.3.6 Αρσενιούχο γάλλιο



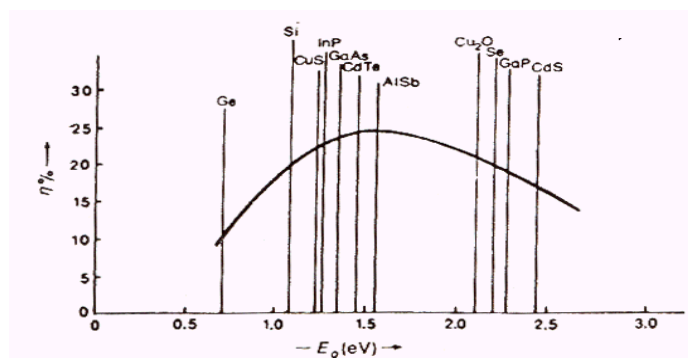
Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται είναι το αρσενιούχο γάλλιο GaAs με ενεργειακό διάκενο 1.43 eV και θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Το υλικό αυτό έχει το πλεονέκτημα να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες. Έχει βρεθεί ότι η απόδοση του GaAs πέφτει στο μισό, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 200 °C, στο πυρίτιο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

### 2.3.7 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.

## 2.4 Απόδοση ημιαγωγών

Η απόδοση των διάφορων ημιαγωγών σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο παρουσιάζεται παρακάτω



**Εικόνα 2.8** 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.

Technology	Thin Film				Crystalline wafer based	
	<i>Amorphous silicon (a-si)</i>	<i>Cadmium telluride (CdTe)</i>	<i>CIS</i>	<i>a-Si/m-Si</i>	<i>Monocrystalline</i>	<i>Multicrystalline</i>
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 2.10** Απόδοση κυψέλης σε σχέση με την τεχνολογία και το υλικό κατασκευής της

## 2.5 Άλλοι τύποι κυψελών

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

### 2.5.1 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% .

### 2.5.2 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

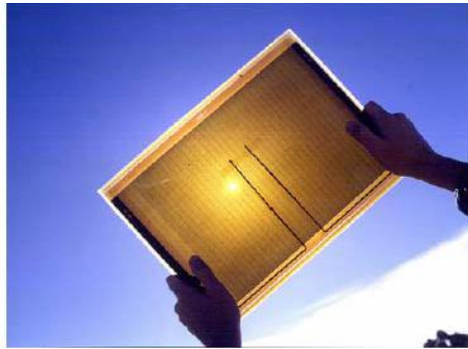


**Εικόνα 2.11** Συγκεντρωτικό φωτοβολταϊκό

### 2.5.3 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 .



**Εικόνα 2.12** Φ/Β κυψέλη κατασκευασμένη από λεπτό στρώμα κρυσταλλικού πυριτίου πάνω σε γυαλί.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Σύντομη ανάλυση φωτοβολταϊκών

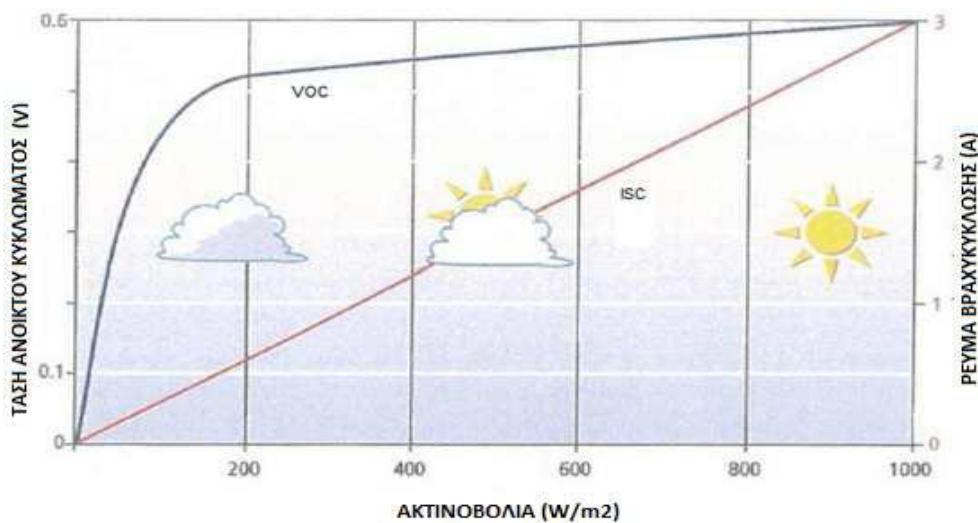
#### 3.0 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ).

Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) θα πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ - 15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ).

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ - 15^\circ$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ). αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο  $\gamma$ ) είναι νότιος ( $\gamma = 0$ ), ενώ απόκλιση κατά  $20^\circ - 30^\circ$  από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



**Εικόνα 3.1** Τάση Voc και Isc σε συνάρτηση με την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ΗΜ Ακτινοβολίας

#### 3.1 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και τη αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) είναι η διέδρη γωνία σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο.

### 3.2 Συνδεσμολογία Φ/Β συστοιχίας – Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών.

Κατά την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων της συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μια σειρά πλαισίων να σκιάζει αισθητά την επόμενη. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma * \text{συν}\beta = 3.20 \text{ (m)}$$

Η ελεύθερη απόσταση  $\alpha$  προκύπτει από το λόγο  $\alpha/\nu$ , που υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος 1 με βάση το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης της Φ/Β συστοιχίας και ο υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης γίνεται από τη σχέση:

$$\nu = \gamma * \eta\mu\beta - \delta = 0.79 \text{ (m)}$$

όπου:

$\gamma$  = μήκος Φ/Β πλαισίων σε (m)

$\beta$  = γωνία κλίσης Φ/Β πλαισίων σε (°)

$\delta$  = υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών Φ/Β πλαισίων ( $\delta = 0$  για στήριξη στο ίδιο επίπεδο σε m).

### 3.3 Βαθμός απόδοσης Φ/Β πλαισίου

Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται βαθμός απόδοσης  $n_{\pi}$  του Φ/Β πλαισίου.

$$n_{\pi} = P_{m\Pi} / P_{HA}$$

όπου:

$P_{m\Pi}$  : η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς Φ/Β πλαισίου (W)

$P_{HA}$ : η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W)

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε  $W/m^2$ , η σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται:

$$n_{\pi} = P_{m\Pi} / P_{HA} * S_{\Pi}$$

όπου:

$P_{m\Pi}$  : η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς Φ/Β πλαισίου (W)

$P_{HA}$ : η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W)

$S_{\Pi}$ : η επιφάνεια Φ/Β πλαισίου ( $m^2$ )

### 3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β πλαισίων

#### Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ή διαφορετικά η μεταβολή της έντασης ή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια το Φ/Β πλαίσιο, κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και του έτους, καθιστά την τροφοδοσία του μη σταθερή η οποία αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής. Επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς του πλαισίου εξαρτάται από τη χρονική μεταβολή της έντασης της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του.

#### Θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου – Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Τα Φ/Β στοιχεία λειτουργούν καλύτερα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, όταν δηλαδή η θερμοκρασία τους δεν υπερβαίνει την συμβατικά σχεδιαζόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, η οποία είναι  $25^{\circ} C$ . Η θερμοκρασία τους όμως αυξάνεται και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, αλλά και εξαιτίας της μετατροπής μέσα σε αυτά μέρους της ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια. Έτσι έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου ελαττώνει τελικά την αποδιδόμενη από αυτό μέγιστη ισχύ κατά περίπου  $0.3\% ^{\circ} C$ .

#### Επίδραση της σκόνης

Η επίδραση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων από τη ρύπανση και τη σκόνη του περιβάλλοντος δεν είναι καθόλου αμελητέα. Αντίθετα με την χρήση ενός αδιάστατου συντελεστή υπεισέρχεται και αυτή η παράμετρος στον υπολογισμό της μέγιστης απόδοσης. Ο παραπάνω συντελεστής παίρνει την τιμή 1 για περιβάλλον χωρίς ρύπανση και την τιμή 0.8 για περιβάλλον με υψηλό επίπεδο ρύπανσης. Πάντως η κλίση με τη οποία τοποθετούνται τα Φ/Β πλαίσια ευνοεί τον καθαρισμό της επιφάνειας τους από την βροχή και τον αέρα και έτσι περιορίζεται η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα. Στις περιπτώσεις όμως, που τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται με οριζόντια κλίση, συν ίσταται ο περιοδικός καθαρισμός τους.

#### Δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής ΔΑ, που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του Φ/Β πλαισίου, όταν αυτό δε φωτίζεται, προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπόψη με τον συντελεστή απωλειών δίοδου  $\sigma_d = 0.99$ .

#### Οι ηλεκτρικές απώλειες

Απώλειες ισχύος παρατηρούνται στους αγωγούς που συνδέουν τα Φ/Β πλαίσια στις Φ/Β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του Φ/Β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κλπ). Πρόσθετες και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Εξάλλου, όπως είδαμε, η τιμή του συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης – έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ( $V_m, I_m$ ). Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά την λειτουργία του θα υπάρξει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την έμφαση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

#### Η φθορά του πλαισίου με το χρόνο

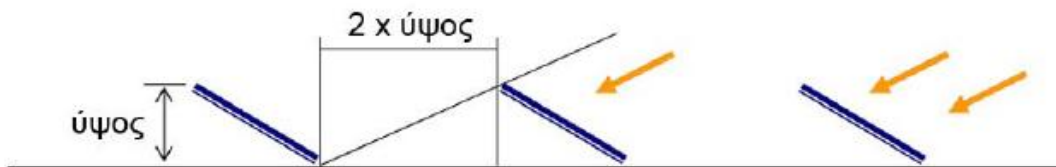
Τέλος, λόγω της φθοράς στα Φ/Β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με τη πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% ως 2% για κάθε έτος.

### **3.5 συνθήκες λειτουργίας Φ/Β στοιχείων**

Τα συνδεόμενα Φ/Β στοιχεία αποδίδουν την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν δέχονται την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, αρκεί να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Αυτή η απαίτηση είναι μείζονος σημασίας, καθώς η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι ευθέως ανάλογη του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Σε διαφορετική περίπτωση, το Φ/Β σύστημα θα λειτουργεί με μειωμένη απόδοση.
- Να τίθενται σε νότιο προσανατολισμό, διότι δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη μέγιστη πυκνότητά της για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια της ημέρας. Αποκλίσεις από το νότο ως  $45^\circ$  είναι αποδεκτές, μειώνουν προφανώς, όμως, την απόδοση.
- Να επιλέγεται η σωστή κλίση του Φ/Β πλαισίου σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Όταν το Φ/Β πλαίσιο τοποθετείται πάνω σε σταθερή βάση στήριξης τότε η βέλτιστη γωνία κλίσης του πλαισίου για μέγιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, σε

το[πους με μέσα ή μεγάλα γεωγραφικά πλάτη,  $\lambda$ , (πέραν των  $20^\circ$ ), βρίσκεται μέσα στην περιοχή  $\lambda \pm (10^\circ - 15^\circ)$ . Συγκεκριμένα, αν επιδιώκεται να παράγεται περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του πλαισίου επιλέγεται  $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, ενώ για το χειμώνα επιλέγεται κλίση  $15^\circ$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Όλα τα παραπάνω προκύπτουν σε συνδυασμό βέβαια με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στον τόπο εγκατάστασης του πλαισίου. Τέλος αν δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα, τότε το καλύτερο που μπορεί να γίνει είναι η επιλογή της κλίσης του πλαισίου κατά  $10^\circ$  χαμηλότερα από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, η οποία σύμφωνα με θεωρητικούς υπολογισμούς προσεγγίζει τη θέση καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμη, αναφέρεται ότι για την καλύτερη παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου, το Φ/Β πλαίσιο δύναται να τοποθετείται πάνω σε κινητή βάση στήριξης με δυνατότητα εποχικής ή συχνότερης ρύθμισης της κλίσης του πλαισίου. Τονίζεται ότι ένα Φ/Β στοιχείο δέχεται τη μέγιστη ισχύ της ακτινοβολίας όταν η κλίση του είναι τέτοια που η πρόσπτωση των ακτινών του ήλιου είναι κάθετη στην επιφάνεια του.



**Εικόνα 3.2** Ένας πρακτικός κανόνας για να αποφευχθούν τυχόν απώλειες λόγω σκίασης



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Τρόποι ψύξης φωτοβολταϊκών**

Το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα ΦΒ, όπως αναφέραμε προηγουμένως, δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό αλλά σε θερμότητα η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους και μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Έτσι η ψύξη τους καθίσταται αναγκαία. Η απαγωγή της θερμότητας δεν συντελεί μόνο στην βελτίωση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης αλλά και στην αύξηση της συνολικής τους ενεργειακής απόδοσης με την χρήση συνδυασμένων συστημάτων που εκμεταλλεύονται την θερμότητα που απάγεται. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι ψύξης είναι με την χρήση νερού ή αέρα. Η ψύξη με νερό γίνεται με δύο τρόπους, ο πρώτος τρόπος είναι με ψύξη μέσω εξάτμισης με σωλήνες θερμότητας (heatpipes) και ο δεύτερος τρόπος είναι με άμεση ψύξη.

Η ψύξη με την χρήση σωλήνων θερμότητας εφαρμόζεται κυρίως στα ΦΒ συστήματα συγκέντρωσης (CPV). Τα CPV είναι συστήματα τα οποία λειτουργούν με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας πολλαπλάσια των συμβατικών ΦΒ συστημάτων και αυτό διότι χρησιμοποιούν φακούς μικρής αντανάκλασης ή φακούς Fresnel σε αντίθεση με το πυρίτιο που χρησιμοποιούν τα συμβατικά.

Η φυσική ή βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα, αν και είναι απλή και οικονομική, για την απομάκρυνση της θερμότητας δεν αποτελεί πρακτική λύση για χώρες όπως η Ελλάδα, αφού η θερμοκρασία του αέρα τους περισσότερους μήνες του χρόνου είναι μεγαλύτερη από 20°C αλλά και γιατί ο αέρας έχει μικρή πυκνότητα με αποτέλεσμα η ψύξη να μην είναι αποδοτική. Από την άλλη το νερό ως ψυκτικό μέσο, με την χρήση εναλλάκτη θερμότητας στη πίσω επιφάνεια του ΦΒ, είναι πιο αποδοτικό αφού το νερό του δικτύου έχει μια σταθερή θερμοκρασία γύρω στους 20 °C όλο το έτος, αποτελεί όμως μια διαδικασία ακριβότερη από την απαγωγή θερμότητας με την χρήση αέρα.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια το ρευστό απολαβής της θερμότητας να μην χρησιμοποιείται μόνο για την ψύξη του ΦΒ αλλά και για άλλες πρακτικές εφαρμογές, σ' αυτήν την περίπτωση λοιπόν συνιστούν τα φωτοβολταϊκά θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ ή PV/T) αέρα ή νερού. Αυτές οι διατάξεις αποτελούνται από τα ΦΒ πλαίσια και τις θερμικές μονάδες και μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται τόσο ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης αλλά και η ολική ενέργεια που αποδίδουν.

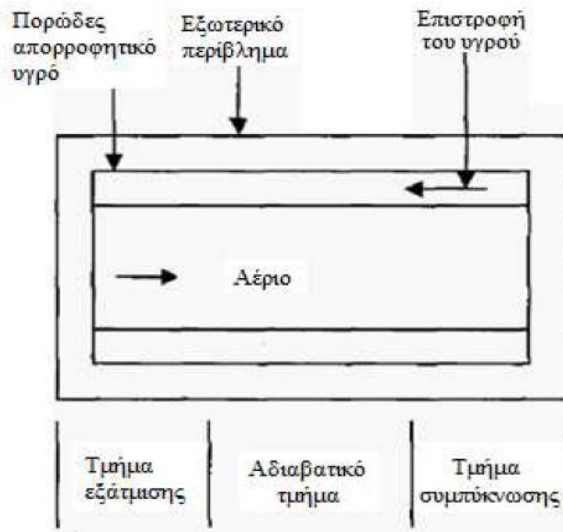
### **4.1 Ψύξη με εξάτμιση**

Η μέθοδος της ψύξης με εξάτμιση είναι βασισμένη στη θεωρία του σωλήνα θερμότητας. Σε αυτήν την μέθοδο, η ψύξη της ΦΒ κυψέλης γίνεται με ελεγχόμενη κυκλοφορία αερίου που ρέει μέσα από τους σωλήνες θερμότητας. Το σχήμα του ΦΒ πάνελ είναι τετραγωνικής ή κυλινδρικής μορφής. Το επιλεγμένο ψυκτικό ρευστό απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης θερμότητας και εξατμίζεται. Τέλος, θα συμπυκνωθεί μέσα στο συμπυκνωτή και θα επιστρέψει σε υγρή μορφή στην ΦΒ κυψέλη μέσω των σωλήνων θερμότητας όπου και θα ξαναεξατμιστεί. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται η ποσότητα των ατμών που συμπυκνώνονται στον συμπυκνωτή. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιείται ο σωλήνας θερμότητας κυλινδρικής γεωμετρίας, αλλά ανάλογα τις απαιτήσεις μπορεί να έχουμε και σωλήνες θερμότητας τετραγωνικής ή ορθογώνιας γεωμετρίας. Ο σωλήνας θερμότητας είναι μια συσκευή με πολύ υψηλή θερμική αγωγιμότητα, και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας από μια θέση σε μια άλλη με μικρή

απόκλιση της θερμοκρασίας. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ο σωλήνας θερμότητας φαίνονται στην εικόνα 4.1. Αποτελείται από τρία τμήματα τα οποία είναι:

1. Τμήμα εξάτμισης.
2. Τμήμα συμπυκνωτών.
3. Αδιαβατικό τμήμα που διαχωρίζει το τμήμα εξάτμισης και το τμήμα του συμπυκνωτή.

Η σχεδίαση και ο αριθμός των σωλήνων θερμότητας εξαρτώνται από την απαιτούμενη ποιότητα της θερμότητας που πρέπει να μεταφερθεί και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.



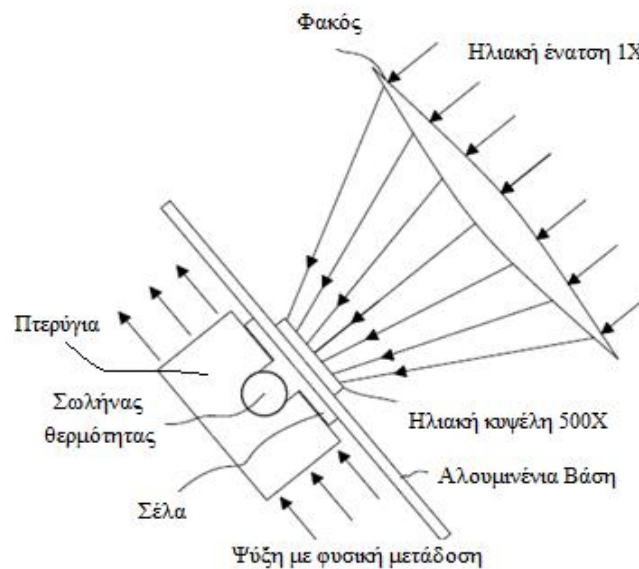
Εικόνα 4.1 Μέρη από τα οποία αποτελείται ο σωλήνας θερμότητας

#### 4.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα συγκέντρωσης (CPV)

Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) λειτουργούν με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ενός ηλίου, όπου ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ενός ηλίου είναι περίπου 1000 W/m<sup>2</sup>, με ολόκληρη την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών να καλύπτεται με ηλιακές κυψέλες. Το υλικό των ΦΒ είναι ακριβό, έτσι το κόστος ολόκληρου του συστήματος είναι αρκετά υψηλό. Σαν εναλλακτική λύση, τα φωτοβολταϊκά συστήματα συγκέντρωσης (CPV) χρησιμοποιούν οπτικά στοιχεία χαμηλότερου κόστους όπως οι καθρέφτες μίνι-αντανάκλασης ή ο φακός Fresnel όπου συγκεντρώνουν ηλιακή ένταση από 200 έως 1000 ήλιους, με συνέπεια να έχουμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με 200 έως 1000 φορές λιγότερο υλικό ημιαγωγών πυριτίου. Τα τετραγωνικά μέτρα του πυριτίου αντικαθίστανται με τετραγωνικά μέτρα φακών ή ανακλαστήρων χαμηλότερου κόστους τα οποία είναι και αρκετά αποδοτικότερα από τα συμβατικά ηλιακά κύτταρα πυριτίου. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια που παραδίδεται στην ηλιακή κυψέλη είναι από 20 έως 75 W/cm<sup>2</sup>. Η ενέργεια που δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική πρέπει να απελευθερωθεί για να αποτρέψει την υπερβολική θέρμανση των κυττάρων και για να αυξήσει την αποδοτικότητά τους. Επομένως, η ψύξη ηλιακών κυψελών είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα του συστήματος CPV. Πρώτον γιατί η απόδοση των ηλιακών κυψελών είναι εξαρτώμενη της θερμοκρασίας των κυψελών διότι με μείωση της θερμοκρασίας έχουμε αύξηση της απόδοσης. Δεύτερον, γιατί το ηλιακό κύτταρο

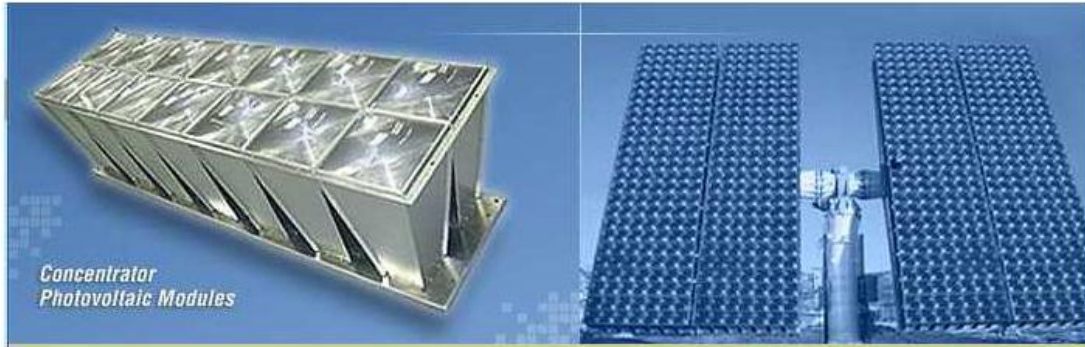
πρέπει να κρατηθεί κάτω από το σημείο τήξης της βάσης στην οποία στηρίζεται για να μην οδηγήσει το ΦΒ σύστημα συγκέντρωσης σε αποτυχία και τρίτον, η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής της ηλιακής κυψέλης είναι συνάρτηση του αριθμού θερμικών κύκλων και του μεγέθους της θερμότητας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της.

Μια σχηματική αναπαράσταση του συστήματος CPV με έναν σωλήνα θερμότητας παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2. Το ηλιακό κύτταρο τοποθετείται πάνω σε μια αλουμινένια βάση. Η ηλιακή ακτινοβολία πριν φθάσει στην ηλιακή κυψέλη έχει γίνει 500 φορές μεγαλύτερη μέσω του φακού Fresnel. Η συγκεντρωμένη ροή χτυπά τη ηλιακή κυψέλη, παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια που παράγεται περνά από την κυψέλη μέσω της σέλας, και από εκεί στον σωλήνα θερμότητας, έπειτα διανέμεται από το σωλήνα θερμότητας σε μια σειρά πτερυγίων, όπου και αφαιρείται με φυσική μετάδοση.



**Εικόνα 4.2** Φωτοβολταϊκό σύστημα συγκέντρωσης με φακούς Fresnel.

Στην εικόνα 4.3 φαίνεται ένα CPV τύπου GEN 1 της εταιρίας EMCORE. Όπως φαίνεται στα αριστερά της εικόνας, το σύστημα της EMCORE αποτελείται από πολλές ηλιακές κυψέλες, όπου η καθεμία έχει επιφάνεια 1cm<sup>2</sup>. Κάθε κυψέλη σφραγίζεται σε ένα κιβώτιο και τοποθετείται σε μια αλουμινένια βάση πάχους 0,5cm. Όπως φαίνεται στη δεξιά εικόνα, οι κυψέλες τοποθετούνται σε ένα σύστημα δύο αξόνων όπου η κατεύθυνση τους είναι πάντα προς τον ήλιο. Τα ηλιακά πάνελ ακολουθούν τον ήλιο με περιστροφή γύρω από έναν κάθετο άξονα. Τα κύτταρα περιστρέφονται και γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Αυτό βοηθάει στη σχεδίαση των σωλήνων θερμότητας, εφόσον ο σωλήνας θερμότητας είναι οριζόντιος για όλες τις συνθήκες λειτουργίας, απλοποιώντας έτσι τη σχεδίαση τους.



**Εικόνα 4.3** Φωτοβολταϊκό σύστημα συγκέντρωσης της EMCORE

Οι απαιτήσεις ψύξης των κυψελών δίνονται στον πίνακα 4.1. Η ψύξη γίνεται με φυσική μετάδοση θερμότητας, δεδομένου ότι η εξαναγκασμένη μετάδοση απαιτεί ανεμιστήρα, και η ισχύς που απαιτείται για να τροφοδοτήσει τον ανεμιστήρα μειώνει την συνολική απόδοση του συστήματος.

Διαστάσεις κελιού	1 cm x 1 cm
Συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας	Περίπου 500 ήλιοι
Απαγωγή θερμότητας σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας	Περίπου 40 W
Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ σωλήνα θερμότητας και περιβάλλοντος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας	25 °C
Διάρκεια ζωής	20 με 30 χρόνια
Τρόπος ψύξης	Παθητική

**Πίνακας 4.1** Απαιτήσεις ψύξης των ΦΒ κυψελών συγκέντρωσης

Ενώ η φυσική μετάδοση επιτρέπει την παθητική αφαίρεση της θερμότητας, η απαγωγή θερμότητας με φυσική μετάδοση είναι από 10 έως 100 φορές χειρότερη από την ψύξη με εξαναγκασμένη μετάδοση. Όσο αυξάνεται το μέγεθος του αποδέκτη θερμότητας (ψήκτρα), αυξάνονται και οι απώλειες μετάδοσης θερμότητας με αποτέλεσμα να πέφτει η απόδοση του CPV. Επειδή η φυσική μεταφορά απαιτεί μεγάλο αποδέκτη θερμότητας, οι απώλειες αυτές αναμένεται να είναι σημαντικές. Οι σωλήνες θερμότητας παρέχουν μια μέθοδο για να προσδώσουν ισοθεμικά τη θερμότητα σε όλα τα πτερύγια, αυξάνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος.

Από έρευνα που έγινε από τους Royne, Dey, και Mills [2005], βρέθηκε ότι υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες κυττάρων CPV: 1. Με μονό κύτταρο, 2. Με γραμμικό συγκεντρωτή, και 3. CPV υψηλής πυκνότητας. Η ψύξη μέσω σωλήνων θερμότητας είναι κατάλληλη για την κατηγορία μονοκύτταρων CPV για υψηλό λόγο συγκέντρωσης, π.χ., για 1.000 ήλιους, και σε CPV με γραμμικούς συγκεντρωτές για χαμηλό λόγο συγκέντρωσης, πχ για 30 ήλιους. Ο πίνακας 4.2 συνοψίζει την έρευνα που έχει γίνει για την ψύξη των CPV μέσω σωλήνων θερμότητας.

**Μονοκύτταρα CPV:** Οι Beach και White [1981] χρησιμοποίησαν έναν σωλήνα θερμότητας χαλκού με συγκολλημένα διαμήκη πτερύγια χαλκού για να αφαιρέσουν θερμότητα περίπου εφτακοσίων ήλιων, χρησιμοποιώντας το νερό ή την ακετόνη σαν ρευστό εργασίας. Το σύστημα ήταν ένας θερμοσίφωνας με λέβητα, και εξετάστηκε σε κάθετη διάταξη. Η αφαίρεση θερμότητας έγινε με φυσική μεταφορά. Η διαφορά θερμοκρασία μεταξύ της κυψέλης και του περιβάλλοντος ήταν περίπου 30°C. Σε μελέτη που πραγματοποίησε ο Farahat [2004] συγκρίνοντας το σωλήνα θερμότητας και την εξαναγκασμένη ψύξη με νερό για τα μονοκύτταρα συστήματα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το σύστημα ψύξης με σωλήνες θερμότητας ήταν καλύτερο.

**Γραμμικός συγκεντρωτής:** Οι Feldman, Kenney, και Edenburn [1981] εξέτασαν την ψύξη με σωλήνες θερμότητας σε έναν γραμμικό συγκεντρωτή με λόγο συγκέντρωσης περίπου εικοσιτεσσάρων ήλιων. Ο σωλήνας θερμότητας ήταν μια θερμοσιφωνική διάταξη ειδικής κατασκευής, με βενζόλιο ως ρευστό εργασίας. Η θερμότητα απορροφήθηκε από δύο πιάτα αλουμινίου με κατακόρυφα πτερύγια. Η θερμοκρασία του τμήματος εξάτμισης υπερέβη τη θερμοκρασία αντοχής του δηλαδή τους 140°C για ταχύτητες ανέμου μικρότερες από 1 m/s. Οι Akbarzadeh και Wadowski [1996] έψυξαν έναν γραμμικό συγκεντρωτή με μια θερμοσιφωνική διάταξη από χαλκό, με λόγο συγκέντρωσης περίπου είκοσι ήλιων. Το ρευστό εργασίας ήταν η ψυκτική ουσία R-11 (τριχλωρομονοφθορομεθάνιο), λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας του, τους 40°C. Η ψύξη έγινε με φυσική μεταφορά. Το υλικό, το μέγεθος, και ο προσανατολισμός πτερυγίων δεν διευκρινίστηκαν.

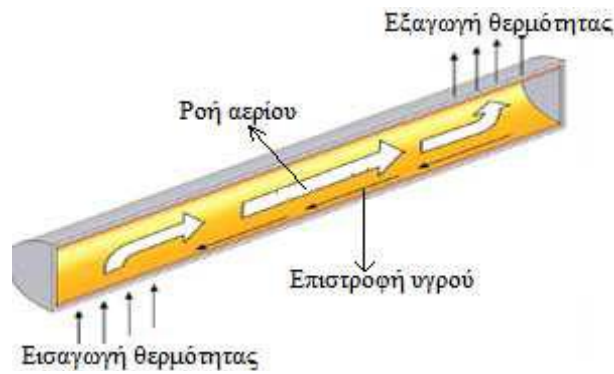
Έρευνα που έγινε από τους	Υλικό σωλήνα θερμότητας	Ρευστό εργασίας	Ηλιακή ακτινοβολία	Τύπος CPV	Αποτελέσματα
Akbarzadeh και Wadowski (1996)	Χαλκός	Φρέον R-11	20 ήλιων	Γραμμικός Συγκεντρωτής	Η θερμοκρασία κρατήθηκε κάτω από τους 46°C
Feldman, Kenney, και Edenburn (1981)	Από αλουμίνιο ο σωλήνας θερμότητας και τα ενσωματωμένα πτερύγια	Βενζόλη	24 ήλιων	Γραμμικός Συγκεντρωτής	Η ταχύτητα του ανέμου απαιτείται να είναι 1 m/s ή υψηλότερη
Beach και White (1981)	Από χαλκό ο σωλήνας θερμότητας και τα συγκολλημένα πτερύγια	Ακετόνη ή νερό	Μέχρι 700 ήλιους	Μονοκύτταρος	Εξετάστηκε η κάθετη διάταξη μόνο και η θερμοκρασία μεταξύ σωλήνα θερμότητας και αέρα ήταν περίπου 30°C

**Πίνακας 4.2** Συγκεντρωτικά στοιχεία μεθόδων ψύξης που εφαρμόστηκαν στις κατηγορίες των CPV .

#### 4.1.2 Σωλήνες θερμότητας

Οι σωλήνες θερμότητας μεταφέρουν την θερμότητα του ρευστού εργασίας σε δύο φάσεις (εικόνα 4.4). Ο σωλήνας θερμότητας είναι βασικά ένας σφραγισμένος σωλήνας, συνήθως κατασκευασμένος από θερμοαγώγιμο υλικό (π.χ. χαλκός ή αλουμίνιο). Η εισαγωγή θερμότητας ατμοποιεί το υγρό ρευστό εργασίας μέσα από το τμήμα εξάτμισης. Ο ατμός, που φέρνει τη λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης, ρέει προς το πιο ψυχρό τμήμα των

συμπυκνωτών. Στο συμπυκνωτή, ο ατμός υγροποιείται και απορροφάται από ένα πορώδες υλικό απελευθερώνοντας θερμική ενέργεια. Σε υγρή μορφή ξανά, το ψυκτικό μέσο κατευθύνεται από το πορώδες απορροφητικό υλικό προς τη μεριά του σωλήνα θερμότητας με την υψηλότερη θερμοκρασία (βάση ψήκτρας). Η διαδικασία αλλαγής φάσης και η διαφασική κυκλοφορία συνεχίζονται εφ' όσον διατηρείται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τμήματος εξάτμισης και του συμπυκνωτή. Οι σωλήνες θερμότητας είναι μια ιδανική συσκευή για τα συστήματα CPV.



**Εικόνα 4.4** Σωλήνας θερμότητας (Heat Pipe)

Οι σωλήνες θερμότητας είναι παθητικές θερμικές συσκευές όπου η θερμότητα μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ χαμηλή πτώση τη θερμοκρασίας. Οι σωλήνες θερμότητας είναι επίσης μετασχηματιστές ροής θερμότητας. Παίρνουν τη θερμότητα σε πολύ υψηλή ροή (από την πίσω πλευρά της ηλιακής κυψέλης του CPV) και τη μεταφέρουν σε έναν αποδέκτη θερμότητας (ψήκτρα) με σημαντικά χαμηλότερη ροή θερμότητας (φυσική μεταφορά στο περιβάλλον). Επειδή ο σωλήνας θερμότητας λειτουργεί σχεδόν ισοθερμικά, το τμήμα του αποδέκτη θερμότητας θα λειτουργεί πολύ αποτελεσματικά. Η χαρακτηριστική αντίσταση διάδοσης του αποδέκτη θερμότητας εξουδετερώνεται και επομένως, ο αποδέκτης θερμότητας μπορεί να έχει μικρότερο μέγεθος και κόστος.

#### 4.1.3 Κατασκευαστικά στοιχεία των σωλήνων θερμότητας

Οι σωλήνες θερμότητας κατασκευάζονται από μια μεγάλη ποικιλία υλικών τόσο για το εξωτερικό περίβλημα όσο και για το εσωτερικό μέρος, ανάλογα με το ρευστό εργασίας. Τα υλικά κατασκευής και το ρευστό εργασίας πρέπει να είναι συμβατά, αυτό σημαίνει ότι το ρευστό λειτουργίας δεν πρέπει να διαβρώνει και να ενώνεται χημικά με τα μεταλλικά μέρη του σωλήνα θερμότητας και ειδικά του τμήματος που ελευθερώνει το μη-συμπυκνωμένο αέριο (NCG). Εάν δημιουργηθεί NCG, μια ποσότητα του θα μπλοκαρισθεί στο τμήμα συμπύκνωσης και η απόδοση του σωλήνα θερμότητας θα μειωθεί με την πάροδο του χρόνου.

##### 4.1.3.1 Υλικά σωλήνων θερμότητας

Για τη περιοχή θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρουν (από -20 μέχρι 100°C), το δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά του εξωτερικού περιβλήματος και των εσωτερικών τοιχωμάτων είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ο χαλκός έχει υψηλότερη πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα από το αλουμίνιο, αλλά είναι ακριβότερος. Ένα πλεονέκτημα του χαλκού είναι ότι ακόμα και αν η επιφάνεια του σκονιστεί ή σκουριάσει συνεχίζει να έχει

υψηλή αξιοπιστία. Πλεονέκτημα του αλουμινίου είναι ότι απομακρύνει εύκολα ποσότητες θερμότητας από το εσωτερικό του με χαμηλό κόστος.

#### 4.1.3.2 Ρευστά λειτουργίας βάση των υλικών του σωλήνα θερμότητας

Η επιλογή του ρευστού εργασίας εξαρτάται από την επιλογή του υλικού των τοιχωμάτων και των αυλακιών. Αυτό γίνεται για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του σωλήνα θερμότητας. Οι σωλήνες θερμότητας για την ψύξη των CPV κατασκευάζονται για λειτουργία περίπου 30 ετών. Η μη συμβατότητα μεταξύ των δύο υλικών αναμένεται να δημιουργήσει διάβρωση και μη-συμπυκνωμένα αέρια (NCG), επίσης τα προϊόντα διάβρωσης που παράγονται στα αυλάκια του σωλήνα θερμότητας εμποδίζουν την καλή λειτουργία του και σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να έχουμε διαρροή.

Οι συνδυασμοί για βέλτιστη λειτουργία, συνάρτηση της θερμοκρασίας είναι:

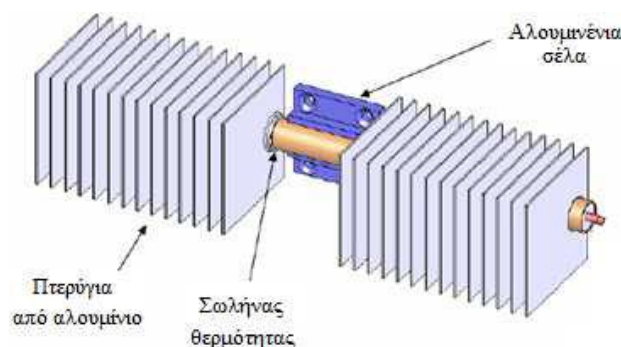
- Χαλκός/νερό

- Αλουμίνιο / αμμωνία

Ωστόσο, και με τα δύο ρευστά έχουμε πιθανά προβλήματα. Το νερό παγώνει στους 0°C, και έτσι μεταφέρεται πολύ μικρή ισχύς σε θερμοκρασίες κάτω από 30°C. Τα συστήματα χαλκού/νερού πρέπει να σχεδιαστούν ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες σε περίπτωση που παγώσει το νερό. Η λειτουργία τους για θερμοκρασίες πάνω από 30°C δεν αποτελεί πρόβλημα, διότι το σύστημα θερμαίνεται πριν αρχίσει να λειτουργεί. Από την άλλη η αμμωνία έχει υψηλή πίεση ατμού. Η απόδοση των σωλήνων θερμότητας με χρήση αμμωνίας ως ρευστό εργασίας πέφτει σε θερμοκρασίες πάνω από τους 80°C.

#### 4.1.3.3 Σχεδίαση συστημάτων σωλήνων θερμότητας

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η κατασκευαστική δομή των σωλήνων θερμότητας χαλκού/νερού (εικόνα 4.5). Η ηλιακή κυψέλη τοποθετείται σε μια αλουμινένια βάση. Η θερμότητα διαβιβάζεται από την ηλιακή κυψέλη μέσω της αλουμινένιας βάσης σε έναν θερμοσωλήνα νερού/χαλκού. Οι σωλήνες θερμότητας μεταβιβάζουν ισοθερμικά τη θερμότητα σε μια σειρά αλουμινένιων πτερυγίων και η θερμότητα μεταφέρεται από τα πτερύγια στον αέρα με φυσική μεταφορά.



**Εικόνα 4.5** Σωλήνας θερμότητας νερού χαλκού

Η επιλογή τους έγινε μέσα από μία σειρά αναλύσεων CFD (υπολογισμός δυναμικής ροής) με προσομοίωση του σωλήνα θερμότητας στον ελεύθερο αέρα και εκτιμήθηκε ύστερα από ένα μεγάλο αριθμό ελέγχων, όπου η θερμοκρασία που επιλέχθηκε για τις εξωτερικές επιφάνειες ήταν 20°C και η πίεση μηδενική.

Σε μετρήσεις που έγιναν για να καθοριστεί η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των πτερυγίων χρησιμοποιήθηκαν πτερύγια με

χαρακτηριστικά που δίνονται στον πίνακα 4.3. Η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των πτερυγίων βρέθηκε 7.94mm.

Μικρότερη απόσταση δίνει μεγαλύτερη επιφάνεια με αποτέλεσμα ο αέρας να μην μπορεί να κυκλοφορήσει εύκολα μέσω των πτερυγίων. Αντίθετα, ο αέρας μπορεί να κυκλοφορήσει πιο εύκολα όταν η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων είναι μεγαλύτερη αλλά τότε μειώνεται η επιφάνεια.

Απόσταση μεταξύ δύο πτερυγίων	Αριθμός πτερυγίων	Διάφορα θερμοκρασίας μεταξύ κυψέλης και περιβάλλοντος	Θερμική Αντίσταση
9,53 mm	20	42,4 °C	1,12 K/Watt
7,94 mm	24	42,3 °C	1,12 K/Watt
6,35 mm	18	45,8 °C	1,12 K/Watt

Πίνακας 4.3 Θερμοκρασία λειτουργίας συνάρτηση του πάχους των πτερυγίων

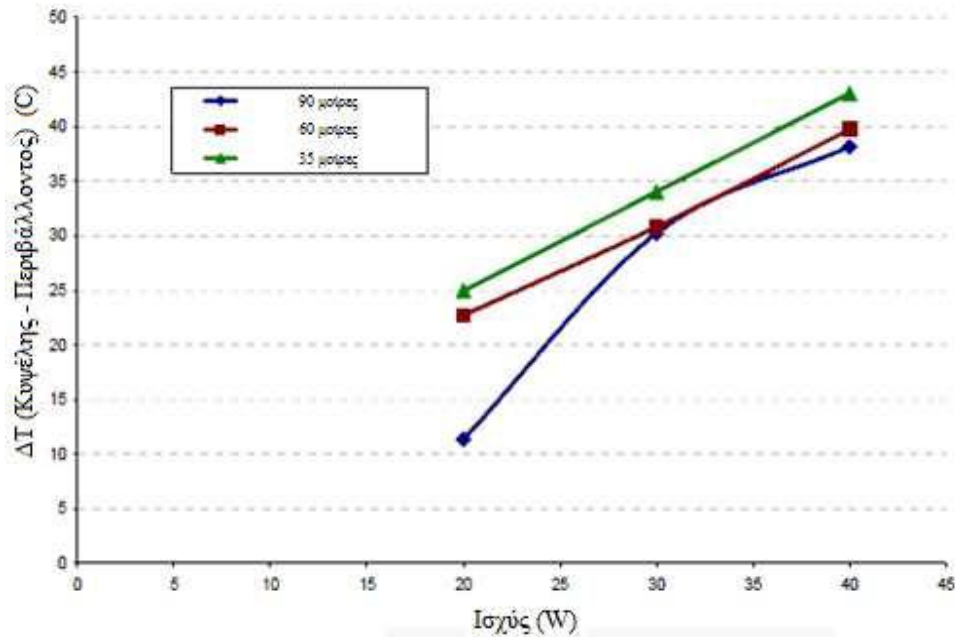
#### 4.1.4 Εξάρτηση της παραγόμενης ισχύος συνάρτηση της κλίσης του CPV

Στα πειράματα που έγιναν για να βρεθεί η επιρροή της κλίσης του ΦΒ συστήματος συγκέντρωσης θα πρέπει η κλίση να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Επομένως τα πάνελ του CPV τοποθετήθηκαν σε ένα σύστημα δύο αξόνων και ολόκληρο το σύστημα περιστρεφόταν από την ανατολή προς την δύση κατά τη διάρκεια της ημέρας, με σκοπό να είναι πάντα προσανατολισμένο προς τον ήλιο. Με αυτήν την διάταξη, ο σωλήνας θερμότητας ήταν πάντα οριζόντιος.

Οι μετρήσεις έγιναν για τρεις διαφορετικές γωνίες του CPV, όπου οι γωνίες αντιπροσωπεύουν την διάρκεια μιας ημέρας, έτσι 35° είναι η κλίση που θα έχει αργά το μεσημέρι, 60° αντιπροσωπεύει το πρωί ή το βράδυ και 90° θεωρείται το χάραμα ή το σούρουπο.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα 4.6. Το στοιχειώδες κύτταρο CPV είχε επιφάνεια 1cm<sup>2</sup>, επομένως για ισχύ 40 W η ισοδύναμη ροή θερμότητας θα είναι 40 W/cm<sup>2</sup>. Όπως είναι φυσικό, η διαφορά θερμοκρασία 1T μεταξύ της κυψέλης και του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη για κλίση 35° (μεσημέρι), όπου η αλουμινένια βάση είναι σχεδόν οριζόντια, αυξάνοντας παράλληλα την ποσότητα θερμότητας που απορροφάται. Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας που μετρήθηκε ήταν 43°C και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σωλήνα θερμότητας με το περιβάλλον ήταν μικρότερη από 25°C, καλύπτοντας έτσι τις απαιτήσεις του πίνακα 4.1.





**Εικόνα 4.6** Διαφορά θερμοκρασίας περιβάλλοντος - κυψέλης συνάρτηση της παραγόμενης ισχύος για διάφορες κλίσεις του CPV

Η θερμοκρασία μεταξύ της ηλιακής κυψέλης και του περιβάλλοντος, χωρίς το σύστημα ψύξης (σωλήνα θερμότητα και πτερύγια) βρέθηκε ότι είναι 110°C σε σχέση με τους 40°C περίπου που είχαμε με ψύξη. Γίνεται λοιπόν εμφανές ότι υπάρχει ανάγκη για ψύξη του CPV και αυτό διότι στην επιφάνεια της ηλιακής κυψέλης φθάνει πολλαπλάσια ηλιακή ακτινοβολία λόγω των φακών που χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα ΦΒ συστήματα για να αυξήσουν την ηλιακή ένταση, με αποτέλεσμα οι ηλιακές κυψέλες να απορροφούν μεγάλα ποσά θερμότητας.

#### 4.2 Μέθοδος υδρόψυξης (Άμεση ψύξη)

Η θερμότητα είναι ο λόγος για την αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών κυψελών και της μείωσης της αποδοτικότητας τους. Σε ορισμένα φωτοβολταϊκά πάνελ η θερμότητα αφαιρείται από έναν αποδέκτη θερμότητας (ψήκτρα) και διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Μια άλλη λύση για την απαγωγή της θερμότητας είναι να ψυχθούν οι φωτοβολταϊκές κυψέλες με τη βοήθεια νερού, ώστε να κρατηθεί η θερμοκρασία λειτουργίας τους μέσα σε κάποια όρια και παράλληλα να αυξηθεί η απόδοση τους. Σε μια τέτοια περίπτωση, γίνεται εκμετάλλευση του ζεστού νερού που παράγεται από έναν συλλέκτη. Μια τέτοια διάταξη είναι ο συλλέκτης ΦΒ/Θ (PVT), ο οποίος είναι σε γενικές γραμμές ένας ηλιακός-θερμικός συλλέκτης με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες να βρίσκονται συνδεδεμένες πάνω στη επιφάνεια ενός πάνελ.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του συλλέκτη ΦΒ/Θ είναι:

1. Μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας, λόγω του χαμηλότερου κόστους συσκευασίας και καλύτερη εκμετάλλευση της διαδικασίας μετατροπής της ενέργειας.
2. Με την ψύξη των φωτοβολταϊκών κυψελών και διατήρηση της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία λειτουργίας, αυξάνεται η αποδοτικότητά τους.
3. Χρησιμοποίηση της παραχθείσας θερμότητας για θέρμανση νερού ή άλλου

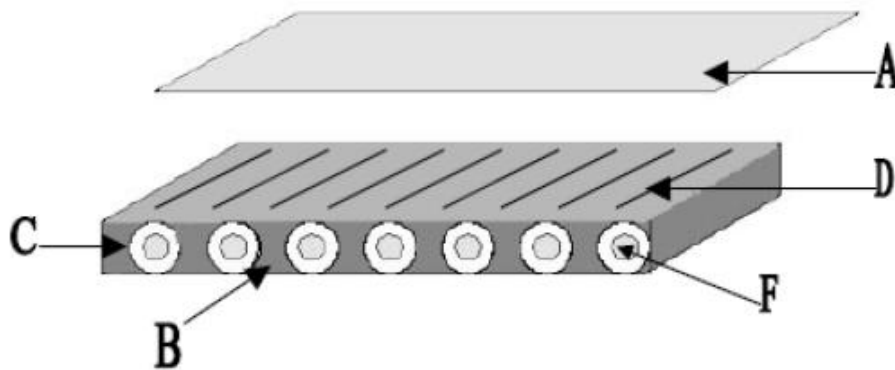
μέσου ψύξης.

#### 4.2.1 Εισαγωγή στα υβριδικά ΦΒ συστήματα νερού

Το σύστημα που χρησιμοποιεί υγρό σαν ψυκτικό μέσο, καλείται υβριδικό. Μετασηματίζει την ακτινοβολία του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια και ταυτόχρονα απορροφά τη θερμότητα από το πάνελ του ΦΒ. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η θερμοκρασία του ΦΒ, επομένως αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης, και η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη ενός μέρους των θερμικών απαιτήσεων ενός κτηρίου ή μιας βιομηχανικής εγκατάστασης. Από την εικόνα 4.7 φαίνεται ότι, το υβριδικό σύστημα κατασκευάζεται από ένα ΦΒ πάνελ «Α», έναν εναλλάκτη θερμότητας «Β» που αποτελείται από τους σωλήνες «C» και τα πτερύγια «D» σε επαφή με την πίσω πλευρά του ΦΒ πάνελ.

Επίσης υπάρχει και θερμική μόνωση γύρω και πίσω από τον εναλλάκτη θερμότητας. Το ρευστό «F» περνά μέσα από τους σωλήνες του εναλλάκτη θερμότητας. Ολόκληρη η εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει και ένα σύστημα που να μπορεί να καταγράφει και να ελέγχει τη θερμοκρασία εισόδου του νερού.

Το κρύο νερό μπορεί να αποθηκευτεί σε μια δεξαμενή και μέσω μιας αντλίας να γίνει η κυκλοφορία του νερού για την ψύξη του ΦΒ. Μια άλλη δεξαμενή χρησιμοποιείται για να αποθηκευτεί το ζεστό νερό που προέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας. Το κρύο νερό εισάγεται στην πρώτη δεξαμενή από το δίκτυο της ύδρευσης, έτσι θα πρέπει η θερμοκρασία της πρώτης δεξαμενής να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα για την καλύτερη ψύξη του ΦΒ.



Εικόνα 4.7 Υβριδικό σύστημα

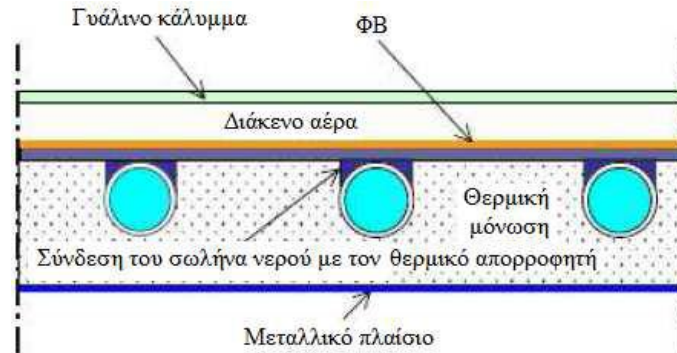
##### 4.2.1.1 Βασικές διατάξεις ΦΒ/Θ συλλεκτών νερού

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συλλεκτών που χρησιμοποιούν το νερό σαν μέσο απαγωγής της θερμότητας, όπου κάθε τύπος διαφέρει από τον άλλον στην μονάδα απαγωγής θερμότητας που χρησιμοποιεί, η οποία καθορίζει την θερμική και ηλεκτρική απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη.

Οι κυριότεροι συλλέκτες νερού είναι:

- **Οι επίπεδοι συλλέκτες (flat – plate collectors) :** Είναι οι πιο διαδεδομένοι και παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η

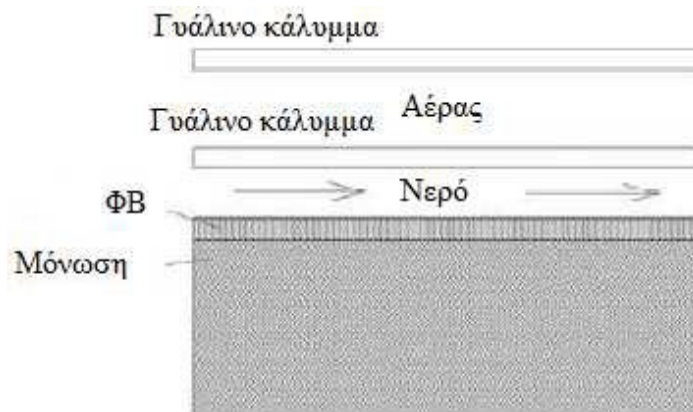
διαφορά τους έγκειται στα φωτοβολταϊκά πάνελ που είναι εγκατεστημένα στην κορυφή της απορροφητικής πλάκας όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8.



Εικόνα 4.8 Διάταξη επίπεδου συλλέκτη

Η θερμική μόνωση αυτών των συστημάτων μπορεί να βελτιωθεί τοποθετώντας περισσότερα γυάλινα καλύμματα, κάθε όμως επιπλέον κάλυμμα δημιουργεί επιπρόσθετη αντανάκλαση με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης, γι'αυτό και στην πράξη χρησιμοποιούνται επίπεδοι συλλέκτες με ένα ή το πολύ δύο καλύμματα.

- **Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες με κανάλια (Channel PV/T - collectors) :** Σε αυτή την κατηγορία συλλεκτών έχουμε περιορισμό στον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί για την απαγωγή θερμότητας, διότι το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία.

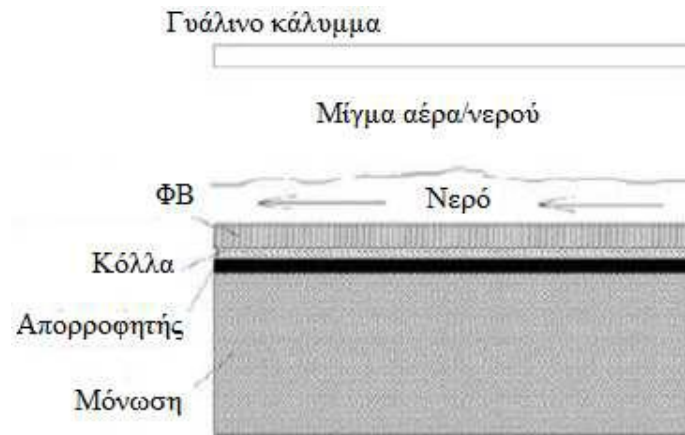


Εικόνα 4.9 Διάταξη ΦΒ/Θ συλλέκτη με κανάλια

Στις περισσότερες εφαρμογές γίνεται η χρήση νερού ως μέσο απαγωγής, το οποίο έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτών των συλλεκτών είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι, το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού με αποτέλεσμα η κατασκευή να είναι αρκετά βαριά και εύθραυστη. Γι'αυτό και έχουν γίνει δοκιμές των συλλεκτών αυτών με διάφανα και αδιάφανα ΦΒ πάνελ. Τα αδιάφανα πάνελ έχουν καλύτερη θερμική απόδοση αλλά υψηλότερο κόστος και επιπλέον έχουν καλύτερη αντοχή στην πίεση του νερού διότι μπορούν να προσαρτηθούν πάνω τους κατάλληλα ελάσματα. Παραλλαγή αυτού του

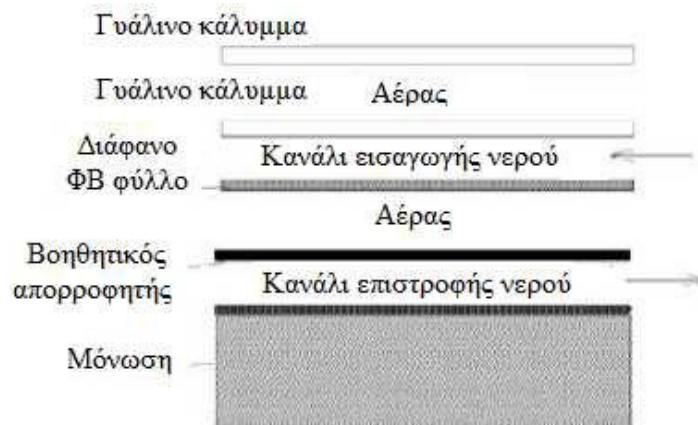
τύπου των συλλεκτών είναι το νερό να ρέει κάτω από το φωτοβολταϊκό.

• **Οι ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτες (free flow PV/T collectors):** Σε αυτή τη κατηγορία συλλεκτών η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.10. Επίσης μια άλλη διαφορά με τους συλλέκτες με κανάλια είναι ότι έχουν μόνο ένα γυάλινο κάλυμμα με αποτέλεσμα η αντανάκλαση και το κόστος των υλικών να μειώνεται και επιπλέον δεν υπάρχει πρόβλημα αντοχής της πίεσης από το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Το υγρό που κυκλοφορεί πάνω από το ΦΒ θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί τον φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε ΦΒ πλαίσιο, όπως και την περίπτωση των συλλεκτών με κανάλια. Η χρήση του νερού σαν μέσω απαγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Το μειονέκτημα τους είναι οι αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης οι οποίες αυξάνονται με αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.10 Διάταξη ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτη.

• **Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two absorber PV/T collectors):** Σε αυτούς τους συλλέκτες έχουμε δύο απορροφητές, τον ρόλο του κύριου απορροφητή παίζει ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο και τον ρόλο του βοηθητικού απορροφητή παίζει μια μαύρη μεταλλική πλάκα όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.11.



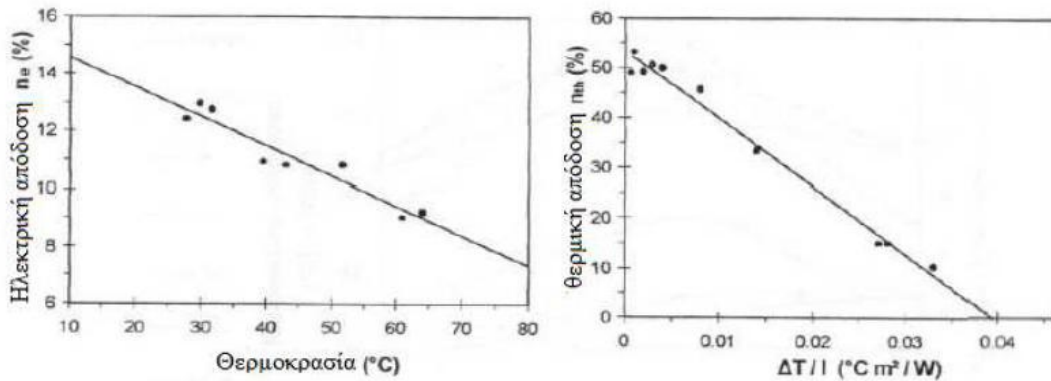
Εικόνα 4.11 ΦΒ/Θ συλλέκτης διπλής απορρόφησης

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου αποτελούνται από δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο, η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή του από το κάτω. Με αυτό τον τύπο του συλλέκτη ασχολήθηκε ο Hendrie όπου και απέδειξε την υψηλή θερμική

απόδοση του. Οι περιορισμοί στο βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Βελτίωση της απόδοσης αυτού του συστήματος μπορούμε να έχουμε με χρήση ενός διάφανου μονωτικού στρώματος ανάμεσα στο επάνω και κάτω κανάλι όπου με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες, όμως αυτό μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη.

#### 4.2.2 Συμπεριφορά ΦΒ/Θ συλλέκτη σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

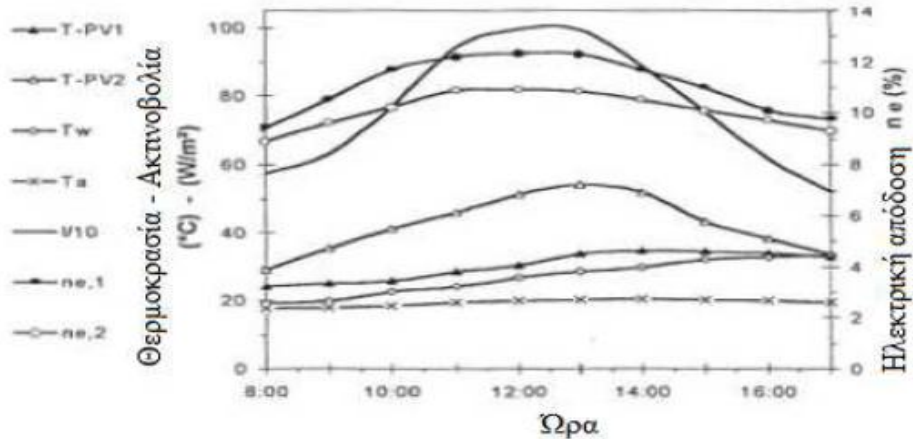
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι μετρήσεις ΦΒ/Θ συλλέκτη με χρήση εναλλάκτη θερμότητας, που έγιναν από τον Τρυπαναγνωστόπουλο. Χρησιμοποιήθηκε ΦΒ πάνελ από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (pc - Si) επιφάνειας 0.4m<sup>2</sup>. Το εύρος της θερμοκρασίας του ΦΒ χωρίς ψύξη κυμάνθηκε από 40 μέχρι 70°C, συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ταχύτητας του αέρα.



Εικόνα 4.12 Ηλεκτρική και θερμική απόδοση συνάρτηση της θερμοκρασίας

Οι παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρουσιάζουν την ηλεκτρική και θερμική απόδοση του ΦΒ για ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (I) περίπου 900 W/m<sup>2</sup>. Είναι εμφανές ότι η ηλεκτρική απόδοση μειώνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για αύξηση της θερμοκρασίας από τους 30°C στους 60°C η ηλεκτρική απόδοση πέφτει από το 13% στο 9.5%. Η δεξιά γραφική παράσταση δείχνει τη θερμική απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας σε συνάρτηση με τον λόγο  $1T/I$ , όπου  $1T = T_i - T_a$  ( $T_i$  η θερμοκρασία εισόδου του νερού και  $T_a$  του περιβάλλοντος). Η μέγιστη απαγωγή θερμότητας, μέσω της κυκλοφορίας νερού από τον εναλλάκτη θερμότητας, γίνεται με απόδοση 55%, δηλαδή όταν  $T_i = T_a$ .

Για  $T_i > T_a$  η θερμική απόδοση μειώνεται. Γίνεται επομένως σαφές ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί σε μειωμένες θερμοκρασίες. Το γεγονός ότι η θερμική απόδοση φθάνει το 55% μας δείχνει ότι η παρουσία του εναλλάκτη θερμότητας είναι ευεργετική στο σύστημα κάτι που αποδεικνύεται και πειραματικά με τις παρακάτω καμπύλες.



**Εικόνα 4.13** Μεταβολή της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ηλεκτρικής απόδοσης (με και χωρίς ψύξη) συνάρτηση του χρόνου

Οι καμπύλες που φαίνονται στην εικόνα 4.13 δείχνουν την διακύμανση της θερμοκρασίας, της ηλεκτρικής απόδοσης και της ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής απόδοσης του ΦΒ συγκρίνονται με και χωρίς εναλλάκτη θερμότητας. Στην γραφική παράσταση έχουμε τις εξής καμπύλες:

- I: Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας
- TPV1: Η θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ (με ψύξη)
- TPV2: Η θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ (χωρίς ψύξη)
- TA: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- TW: Η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή
- ηe, 1: Η ηλεκτρική απόδοση του ΦΒ (με ψύξη)
- ηe, 2: Η ηλεκτρική απόδοση του ΦΒ (χωρίς ψύξη)

Παρατηρούμε ότι με ψύξη η θερμοκρασία λειτουργίας μειώνεται. Στην περιοχή με την υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι από τις 11:00 μέχρι τις 14:00, η διαφορά μεταξύ του ΦΒ με ψύξη και χωρίς είναι περίπου 20°C. Η μέση αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης από τις μετρήσεις κατά την διάρκεια της ημέρας βρέθηκε ότι είναι 15%.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι δεν χρειάζεται να έχουμε συνεχή κυκλοφορία νερού για να έχουμε επαρκή αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης. Από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για να καθοριστεί το χρονικό διάστημα συνεχούς ψύξης έδειξαν ότι κυκλοφορία κρύου νερού για 5 λεπτά μέσω του εναλλάκτη θερμότητας με παροχή 60 lt/h και έπειτα 5 λεπτά χωρίς κυκλοφορία, μπορεί να θεωρηθεί επαρκής για να κρατήσει την θερμοκρασία του ΦΒ κάτω από τους 35°C (για  $I=900\text{W/m}^2$ ,  $T_a=20^\circ\text{C}$  και  $T_w=20^\circ\text{C}$ ). Για χαμηλότερη παροχή του νερού ή μεγαλύτερο χρόνο αναμονής του συστήματος κυκλοφορίας του νερού, έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης. Η διαδικασία αυτή φυσικά μειώνει και την κατανάλωση ισχύος της αντλίας. Στο νερό που φεύγει από τον εναλλάκτη θερμότητας προσδίδεται θερμότητα από το ΦΒ πάνελ. Έτσι μπορεί να αποθηκευτεί σε καλά-μονωμένες δεξαμενές για χρήση του σε απαιτήσεις ζεστού νερού. Η ποσότητα του νερού μπορεί να μην επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες που μπορεί να έχει μια κατοικία αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτείται προθέρμανση.

### 4.2.3 Περιορισμοί και παραδοχές υβριδικών ΦΒ/Θ συστημάτων

Η φυσική κυκλοφορία αέρα αποτελεί μια απλή και χαμηλού κόστους μέθοδο για να αφαιρέσει τη θερμότητα από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και να κρατήσει την ηλεκτρική απόδοση σε ικανοποιητικό επίπεδο. Η εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα είναι αποδοτικότερη αλλά οι πρόσθετες ενεργειακές απαιτήσεις της αντλίας μειώνουν το καθαρό κέρδος του συστήματος σε ηλεκτρική ενέργεια. Η άμεση εξαγωγή της θερμότητας από την πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού με τη χρήση κάποιου υγρού είναι αποτελεσματικότερος τρόπος ψύξης. Για να αποφύγουμε τα προβλήματα λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού, χρησιμοποιείται και ένας εναλλάκτης θερμότητας σε θερμική επαφή με την πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού.

Η θερμοκρασία λειτουργίας της θερμικής μονάδας στα υβριδικά συστήματα ΦΒ/Θ έχει επιπτώσεις στην ηλεκτρική απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Για να μεγιστοποιήσουμε την ηλεκτρική παραγωγή, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να βρίσκεται στην βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας, η οποία εξαρτάται από την εισερχόμενη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση ενός ρευστού για την απαγωγή της θερμότητας, το οποίο θα έχει κατάλληλη ροή μάζας (παροχή) ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη άνοδο της θερμοκρασίας του υγρού στην έξοδο του. Το ζεστό νερό που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρου, σε πισίνες ή σε βιομηχανίες. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες μπορεί να φανούν πιο χρήσιμες για θέρμανση αλλά τότε μειώνεται η ηλεκτρική απόδοση του φωτοβολταϊκού.

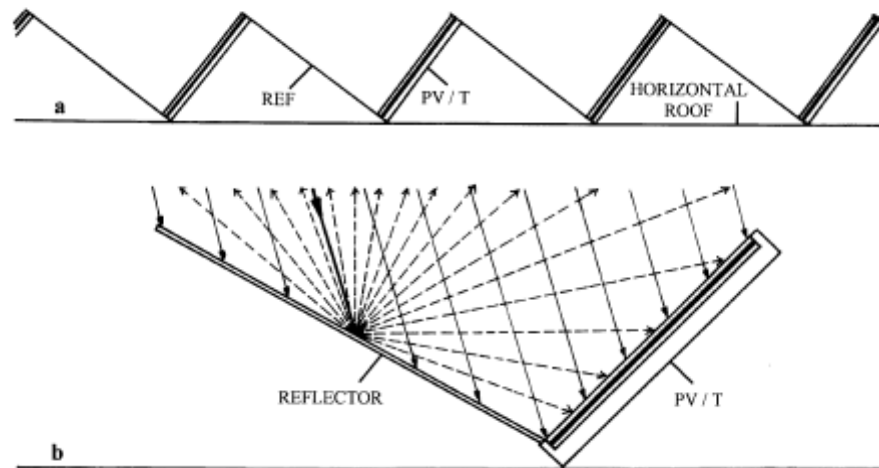
Για τα φωτοβολταϊκά σε περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, η θέρμανση χώρου είναι περισσότερο απαραίτητη για σχεδόν όλο το έτος και η ψύξη των ΦΒ με αέρα μπορεί να φανεί πιο αποδοτική έναντι της ψύξης με νερό. Επομένως το μέσο ψύξης εξαρτάται από την μέση τιμή της θερμοκρασίας της περιοχής, της ηλιακής ακτινοβολίας και τις ανάγκες που έχουμε για ηλεκτρική ή θερμική απόδοση.

Σε όλες τις εφαρμογές ΦΒ/Θ συστημάτων το συμπληρωματικό κόστος του θερμικού μέρους (εξαγωγή θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, το ρευστό λειτουργίας και ο τρόπος ροής του, οι σωλήνες κυκλοφορίας, οι αντλίες, η θερμική μονάδα αποθήκευσης νερού, κ.λπ.) πρέπει να συγκριθεί με το κόστος μια συμβατικής εγκατάστασης φωτοβολταϊκού, υπολογίζοντας το κέρδος της ηλεκτρικής αραγωγής που έχουμε με ψύξη, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το σύστημα και να το καταστήσει οικονομικά αποδοτικό. Η προστιθέμενη θερμική μονάδα πρέπει να είναι ανθεκτική, δεδομένου ότι η ψύξη του φωτοβολταϊκού μπορεί να δώσει στα ηλιακά κύτταρα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το κόστος της θερμικής μονάδας είναι το ίδιο για όλους τους τύπους των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά συστήματα, για την ίδια απαγωγή θερμότητας και για ίση επιφάνεια της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, αλλά η θερμική αποδοτικότητα διαφέρει ανάλογα τον τύπο του φωτοβολταϊκού. Τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου (a-Si) εμφανίζουν μεγαλύτερη θερμική απόδοση λόγω του ότι έχουν μικρότερη ηλεκτρική απόδοση και μικρότερες οπτικές απώλειες.

Στις σταθερές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται συνήθως σε παράλληλη διάταξη, σε απόσταση μεταξύ τους για να αποφευχθεί το φαινόμενο της σκίασης (shading). Καθώς οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν πάνω στην οριζόντια επιφάνεια μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δεν εκμεταλλεύεται από την ΦΒ εγκατάσταση.

Αυτό συμβαίνει από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο λόγω της μεγαλύτερης απόσταση του ήλιου από τη επιφάνεια της θάλασσας. Μέρος αυτή της ακτινοβολίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, γι'αυτό και έχουν προταθεί οι συμπληρωματικοί διάχυτοι ανακλαστήρες που τοποθετούνται μεταξύ των παράλληλων

πλαισίων του φωτοβολταϊκού όπως φαίνεται στην εικόνα 4.14, αυξάνοντας την έκθεση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών. Οι διάχυτοι συμπληρωματικοί ανακλαστήρες επιτυγχάνουν μια ομαλότερη διανομή της πρόσθετης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ, η οποία μπορεί να είναι σχεδόν ομοιόμορφη εφόσον έχουν την κατάλληλη γεωμετρία τα συστήματα των ανακλαστήρων. Η πρόσθετη ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των ΦΒ είναι χαμηλότερη από αυτή που έχουμε με κατοπτρικούς ανακλαστήρες, αλλά οι διάχυτοι ανακλαστήρες είναι φτηνότεροι και μπορούν να συνδυαστούν πιο εύκολα με τυπικά μεγέθη ΦΒ. Στα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα αυτή η πρόσθετη ηλιακή εισαγωγή μπορεί να αυξήσει τη θερμική και ηλεκτρική παραγωγή τους, κρατώντας τη θερμοκρασία των ΦΒ σε ένα λογικό επίπεδο. Η εισαγωγή συμπληρωματικών διάχυτων ανακλαστήρων στα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα προτείνεται κυρίως για οικονομική βελτίωση της συνολικής εγκατάστασης.



**Εικόνα 4.14** Συνδυασμός ΦΒ/Θ συστημάτων με επίπεδους διάχυτους ανακλαστήρες .



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Περιγραφή του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και αξιολόγηση της κατασκευής**

### **5.1 Απαίτηση 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.

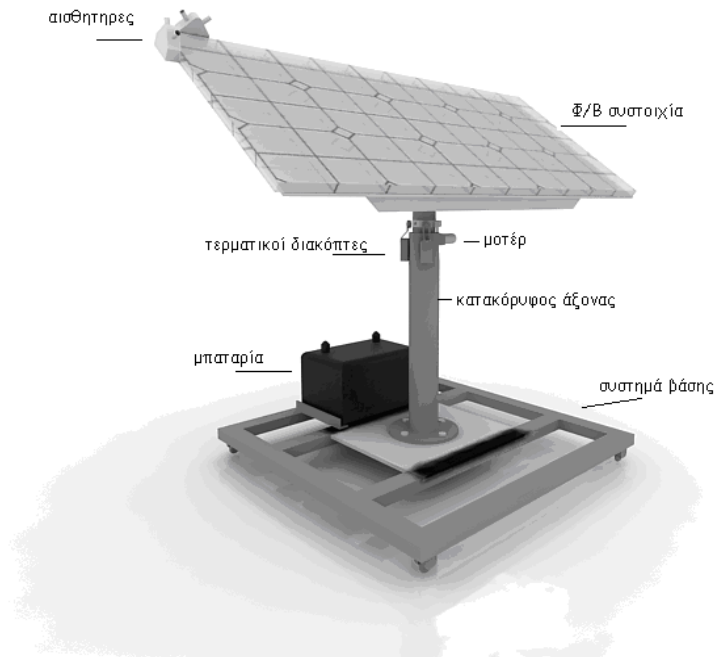
Από τις παραπάνω τρεις μεταβολές, στην πρώτη περίπτωση, δεν μπορεί να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση. Μπορούμε όμως, να εξασφαλίσουμε την μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας στις άλλες δυο περιπτώσεις. Για το σκοπό αυτό, το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου θα πρέπει να εξασφαλίσει την κίνηση του Φ/Β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

Η κίνηση του Φ/Β πλαισίου στον οριζόντιο άξονα θα εξασφαλίζει τη μέγιστη 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 (εικόνα 36, 37) 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 μεταβάλλουμε τη ζενίθια γωνία, (σχέση 11), 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.

### **5.2 Το πρωτότυπο συστήματος παρακολούθησης του ήλιου και τα βασικά τμήματά του**

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



**Εικόνα 5.1** Το 3Δ μοντέλο της κατασκευής

Το σύστημα αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

1. Το μηχανολογικό τμήμα

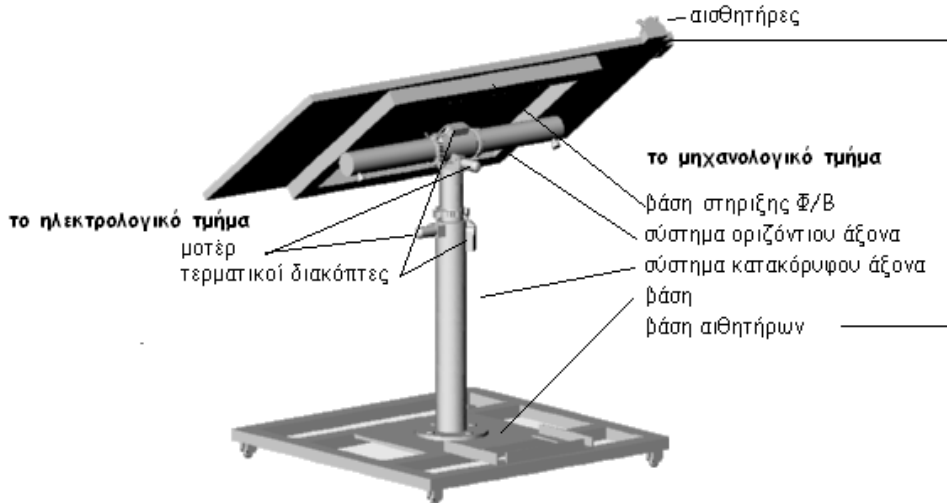
- Βάση
- Σύστημα κατακόρυφου άξονα
- Σύστημα οριζόντιου άξονα
- Βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου
- Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων

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 5.2** Πίσω όψη της κατασκευής

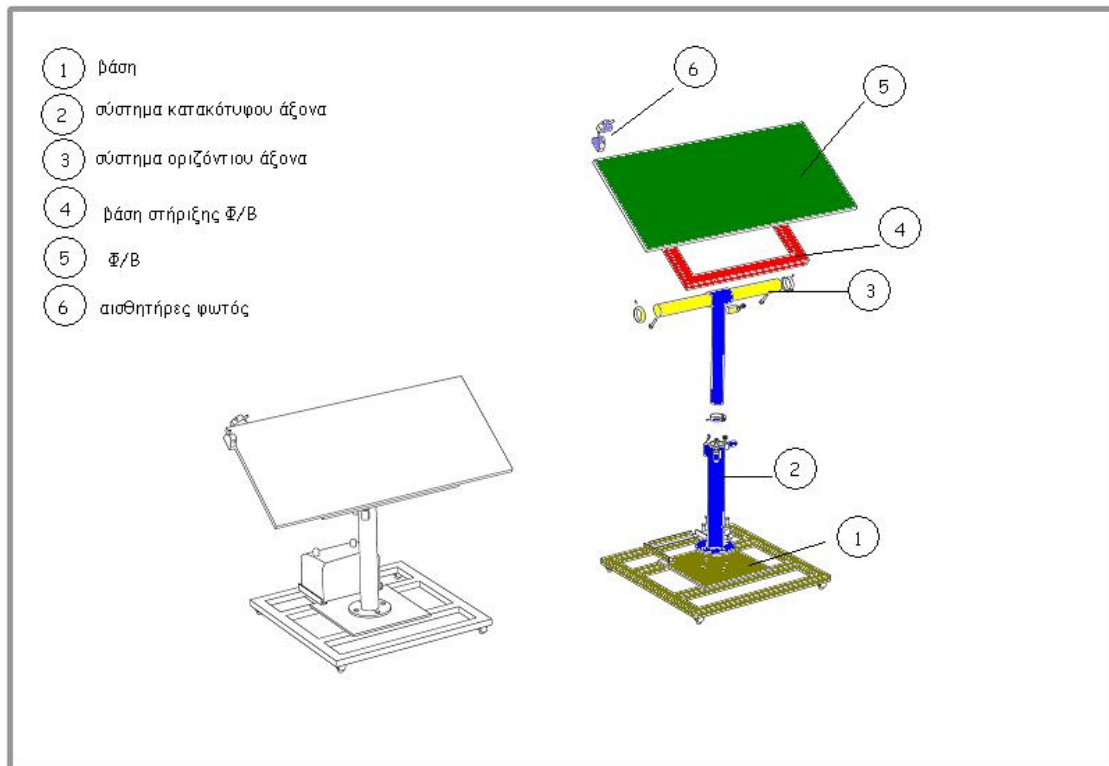
### 5.3 Αρχή λειτουργίας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου μαζί με τη Φ/Β πλάκα

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.

### 5.4 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 5.3** Τα βασικά μέρη του μηχανολογικού τμήματος

### 5.4.1 Η Βάση

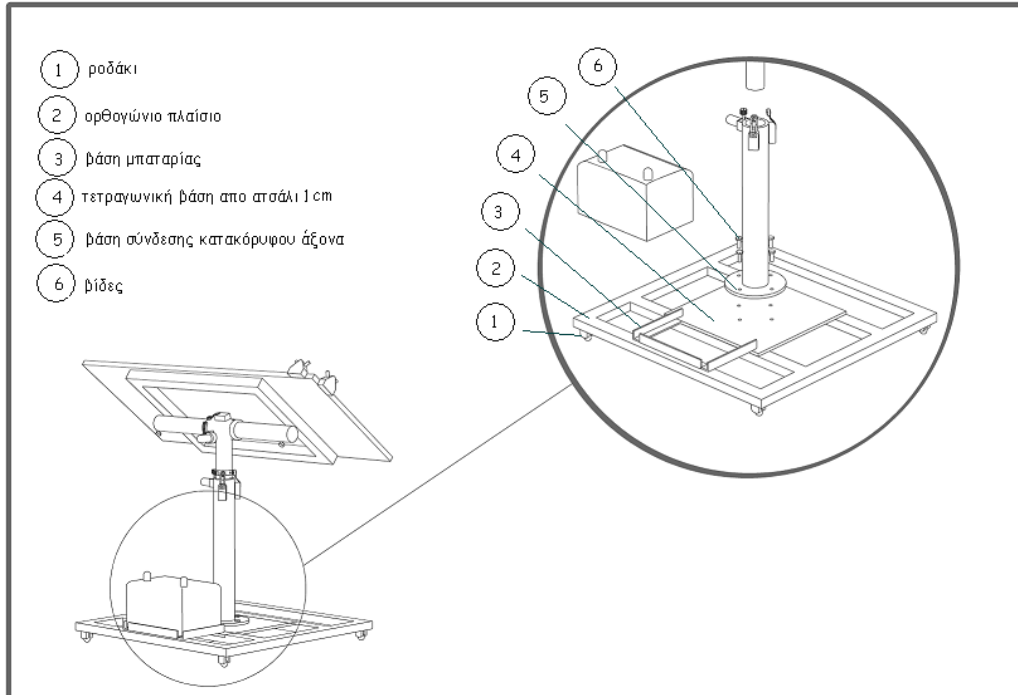
Είναι ένα ορθογώνιο βαρύ μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων 80cm X 80cm X 5 cm . Στο εσωτερικό του πλαισίου, υπάρχουν δυο μεταλλικοί ράβδοι ορθογωνικής διατομής 5 cm X 3cm. Οι μεταλλικοί ράβδοι στηρίζουν μια συμπαγή λαμαρίνα από ατσάλι διαστάσεων 40 cm X 40 cm X 1cm.

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 βραχυκυκλώματα.

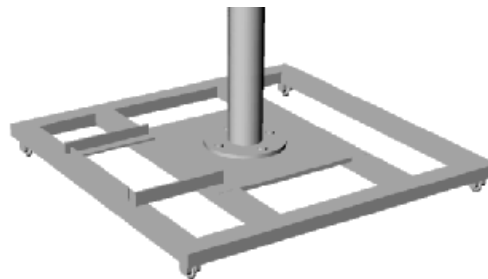
Επίσης, υπάρχουν ειδικές οπές ώστε να σταθεροποιείται ένας Dc σε Ac μετατροπέας για να μπορούν να δουλέψουν οι συσκευές εναλλασσομένου ρεύματος.

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.



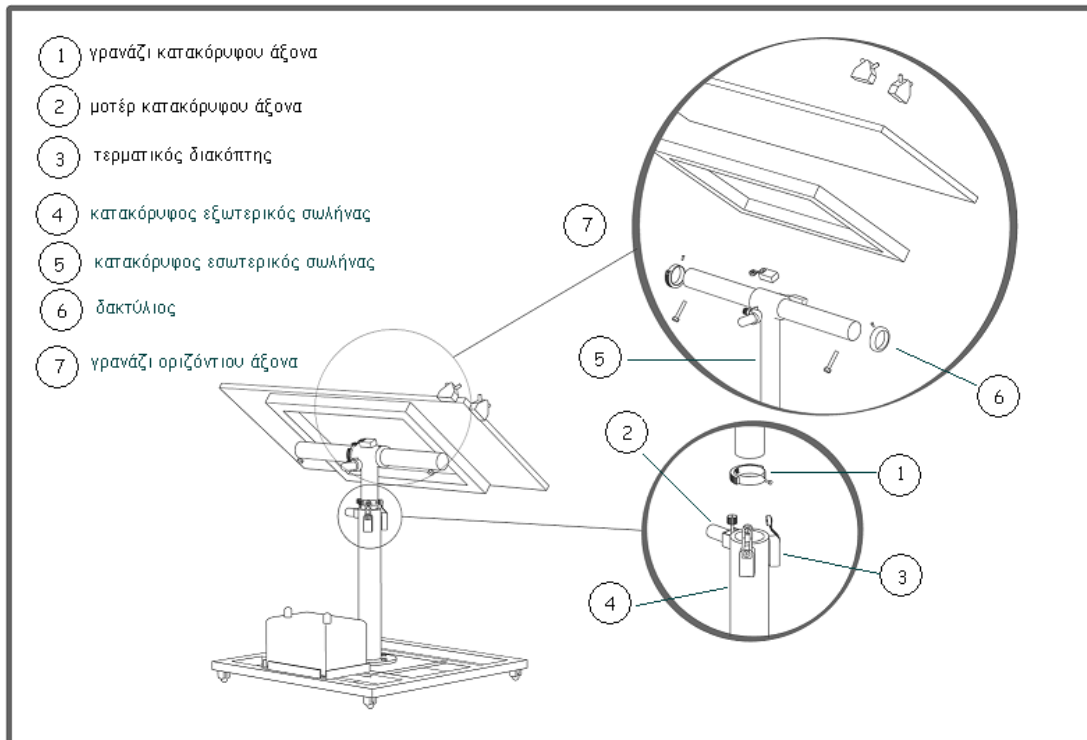
**Εικόνα 5.4** Η Βάση



**Εικόνα 5.4** 3Δ ανάπτυγμα βάσης

### 5.4.2 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 5.6** 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.



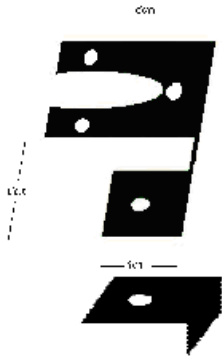
**Εικόνα 5.7** 3Δ ανάπτυγμα του κατακόρυφου άξονα

Στην υλοποίηση του συστήματος έγιναν κάποιες αλλαγές από το 3Δ ανάπτυγμα για να αντιμετωπιστούν κάποια προβλήματα εργονομικής ή κατασκευαστικής φύσεως. Για παράδειγμα τοποθετήθηκε άλλη βάση γραναζιού από ότι φαίνεται στο 3Δ 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 γρανάτζι πάνω στη βάση του γραναζιού.



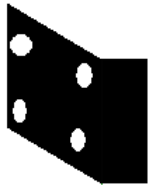
**Εικόνα 5.8** Βάση του μεγάλου γραναζιού μαζί με το γρανάτζι

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 γρανάτζι του μοτέρ. Στην κάτω πλευρά φέρει επίσης μια οπή ώστε να μπορεί να περάσει η βίδα που την προσαρμόζει.

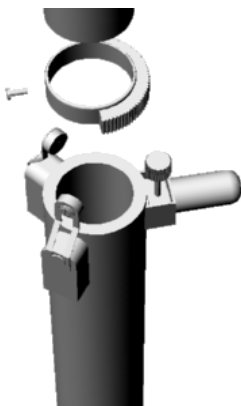


**Εικόνα 5.9** Το σύστημα στήριξης του μοτέρ του οριζόντιου άξονα.

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 5.10** Βάση στήριξης του τερματικού διακόπτη

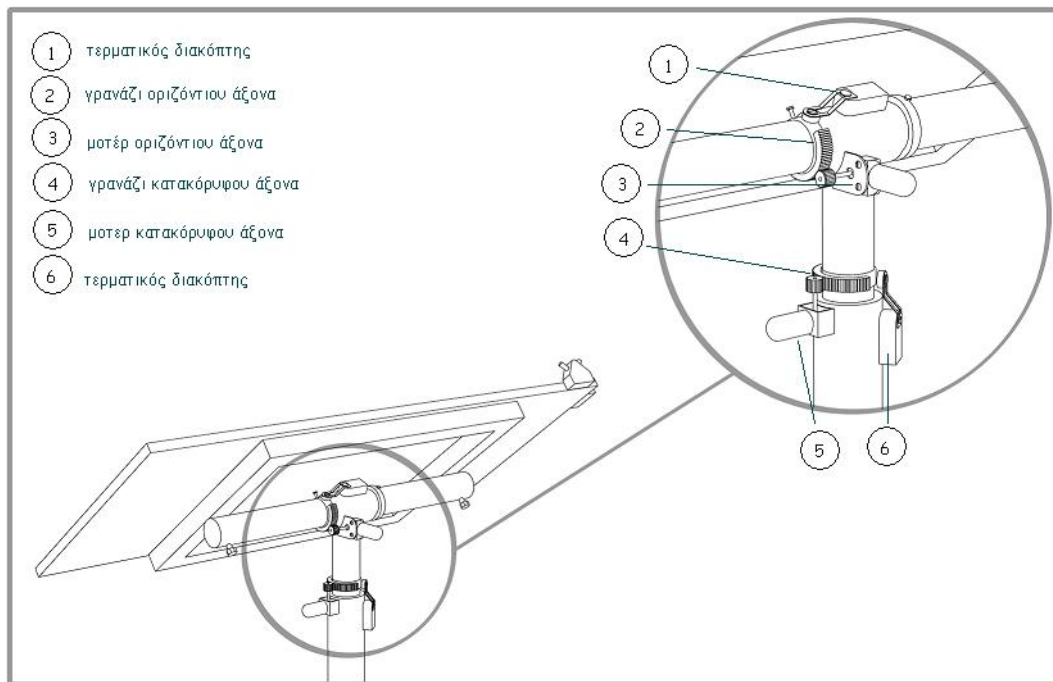


**Εικόνα 5.11** 3Δ ανάπτυγμα που παρουσιάζονται οι γωνίες τοποθέτησης των τερματικών διακοπών καθώς και η θέση του μοτέρ

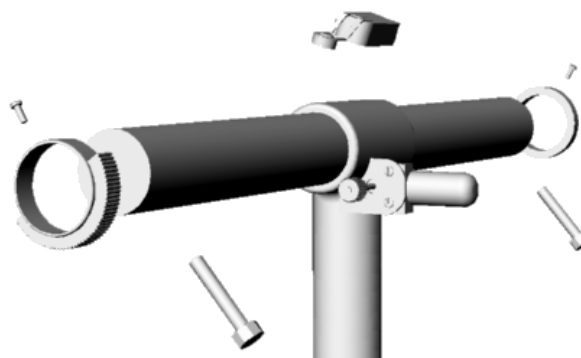


### 5.4.3 Το σύστημα του οριζόντιου άξονα

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 ασφαλίζει με δυο αυτόνομα δακτυλίδια εξωτερικής διαμέτρου 6cm και εσωτερικής διαμέτρου 5cm.



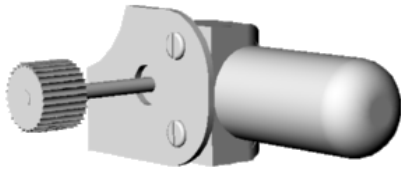
**Εικόνα 5.12** Ο οριζόντιος σωλήνας



**Εικόνα 5.13** 3Δ ανάπτυγμα οριζόντιου άξονα

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

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



**Εικόνα 5.14** Βάση του μοτέρ και το μοτέρ του οριζοντίου άξονα

#### 5.4.4 Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου

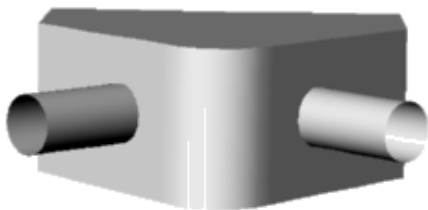
Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου βιδώνεται στον οριζόντιο σωλήνα με δυο βίδες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



**Εικόνα 5.15** Η βάση στήριξης του Φ/Β πλαισίου

#### 5.4.5 Βάση τοποθέτησης των αισθητήρων

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



**Εικόνα 5.16** Ειδική διάταξη τοποθέτησης των φωτοαντιστάσεων

## 5.5 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.

### 5.5.1 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 περιστρέφουν 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.

### 5.5.2 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 5.17** Ο τερματικός διακόπτης

## 5.6 Το ηλεκτρονικό τμήμα

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

### 5.6.1 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 5.18** Οι φωτοαντιστάσεις

### 5.6.2 Το ηλεκτρονικό κύκλωμα

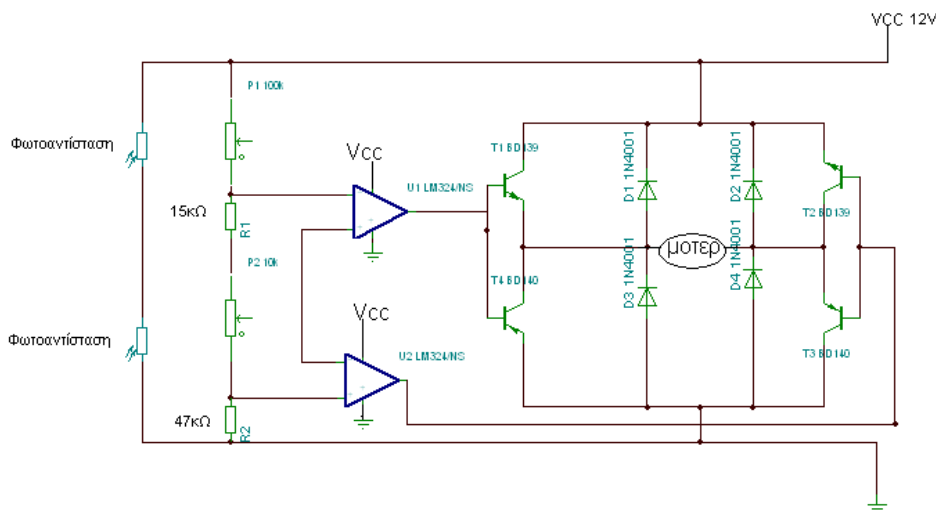
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα είναι το μυαλό του συστήματος. Η φιλοσοφία του είναι απλή. Για την κίνηση σε κάθε άξονα χρησιμοποιείται το παραπάνω ζευγάρι αισθητήρων που ανιχνεύουν το φως. Κάθε μια φωτοαντίσταση συνδέεται με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (LM324) που εργάζεται σαν συγκριτής παραθύρου. Όταν το φως 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 αντίστασή 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 σκόπευσης 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 5.19** Το θεωρητικό ηλεκτρονικό 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:

1. Τρανζίστορ T1, T3 :BD239
2. Τρανζίστορ T2, T4 :BD 240
3. Συγκριτής : ολοκληρωμένο κύκλωμα: ALM 324 N
4. Δίοδοι D1,D2,D3,D4 : IN4001
5. Φωτοαντιστάσεις
6. Μικρορελέ 12V

### 5.7 Απόδοσης του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου, υπό συνθήκες συννεφιάς

Η απόδοση του φωτοβολταϊκού που είναι προσαρτημένο στο σύστημα παρακολούθησης του ήλιου σε σχέση με τα άλλα δυο συστήματα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

Απόδοση= (Διαφορά Ενέργειας μεταβλητού από σταθερό Φ/Β)/Ενέργεια Σταθερού Φ/Β100%

Μετά από επεξεργασία υπολογίστηκαν οι ενέργειες που παράγονται από κάθε σύστημα καθώς και η απόδοση του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου σε σχέση με τα άλλα δυο συστήματα.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στο πινάκα 5.1

	Σταθερό Φ/Β κλίση 37	Σταθερό Φ/Β κλίση 52	Φ/Β μεταβλητής κλίσης και αζιμούθιου
Ενέργεια (Wh)	262,2	273,6	296,1
	Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 37		Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 52
Διαφορά Ενέργειας(Wh)	33.9		22,5
Απόδοση	12,94%		8,24%

**Πίνακας 5.1** Αποδόσεις υπό καθεστώς συννεφιάς

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση πολύ συννεφιασμένου καιρού το κέρδος από το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου είναι περιορισμένο.

Στην περίπτωση, που η σύγκριση γίνεται με ένα Φ/Β που έχει τοποθετηθεί με τον κλασικό τρόπο, η βελτίωση στην παραγωγή της ενέργειας είναι 13% (βλέπε πίνακα ΙΙΙ). Το κέρδος μας είναι ακόμη μικρότερο στη περίπτωση που το συγκρίνουμε με τον εμπειρικό τρόπο (γεωγραφικό πλάτος +15<sup>ο</sup>) αύξησης της απόδοσης της φωτοβολταϊκής ενέργειας για τη περίοδο του χειμώνα. Στην περίπτωση αυτή η απόδοση είναι της τάξης του 8% (βλέπε πίνακα 5.1).

Το γεγονός αυτό δεν πρέπει να μας ανησυχεί ιδιαίτερα, αφού η Ελλάδα είναι από τις χώρες με τις περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας. Πράγματι οι ώρες ηλιοφάνειας ετησίως κυμαίνετε μεταξύ των 2200 και των 2800 ωρών.

### 5.8 Απόδοση του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου, υπό συνθήκες ηλιοφάνειας

Επίσης, μετά από επεξεργασία, βρέθηκαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις ενέργειες που παράγει το κάθε σύστημα καθώς και οι μεταξύ τους αποδόσεις σε περίπτωση ηλιοφάνειας.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πινάκα 5.2

	Σταθερό Φ/Β κλίση 37	Σταθερό Φ/Β κλίση 52	Φ/Β μεταβλητής κλίσης και αζιμούθιου
Ενέργεια (Wh)	327,5	363,7	420,7
	Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 37		Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 37
Διαφορά Ενέργειας(Wh)		93,2	57
Απόδοση		28,32%	15,67%

**Πίνακας 5.2** Αποδόσεις υπό καθεστώς ηλιοφάνειας

Τα αποτελέσματα βελτιώνονται δραματικά στην περίπτωση ηλιοφάνειας. Κατά την σύγκριση του πρωτότυπου συστήματος με στο σταθερό Φ/Β που τοποθετείται με τον κλασικό τρόπο, προκύπτει απόδοση της τάξης του 28%. Γεγονός που σημαίνει, ότι κερδίζουμε παραπάνω από το 1/4 της ενέργειας. Επομένως, χονδρικά κερδίζουμε τρεις επιπλέον μήνες χρήσης του Φ/Β ετησίως.

Όσο αφορά την απόδοση σε σχέση με σταθερό Φ/Β που έχει ρύθμιση χειμώνα η απόδοση είναι της τάξης του 16%. Σε αυτή την περίπτωση κερδίζουμε πάνω από δυο επιπλέον μήνες το χρόνο χρήσης του Φ/Β.

### 5.9 Κατανάλωση κινητήρων –καθαρή απόδοση της συστήματος παρακολούθησης του ήλιου.

Μετά από συνεχείς μετρήσεις και παρατηρήσεις της λειτουργίας της κατασκευής προέκυψε ο παρακάτω πίνακας V εκτίμησης της κατανάλωσης του κινητήρα. Πρέπει να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, η απαίτηση σε ρεύμα, μεταβάλλεται στιγμιαία και κυμαίνεται από 1,1 A μέχρι 2,1 A. Η μέγιστη απαίτηση σε ρεύμα εμφανίζεται τη στιγμή που πρέπει να τερματίσει η κίνηση, οπότε πρέπει να υπερνικήσει τη ταχύτητα περιστροφής. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης χρησιμοποιήσαμε την μέση τιμή του ρεύματος 1.6 A.

Όσον αφορά τη διάρκεια της κίνησης για τον κατακόρυφο άξονα θεωρούμε 10 s, αν και η κίνηση ολοκληρώνεται σε λιγότερο από 3s. Θεωρώντας 10 s, λαμβάνουμε υπόψη τυχόν πισωγυρίσματα της κατασκευής σε περίπτωση κάποιας απρόβλεπτης κατάστασης, .π.χ. όταν η μια φωτοανίσταση «βλέπει» στιγμιαία ένα σύννεφο.

Όσον αφορά τη κατακόρυφη κίνηση, επειδή η διαδρομή που ακολουθεί είναι σχεδόν η μισή, χρησιμοποιήθηκε ο μισός χρόνος με την ίδια ακριβώς λογική.

	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Διάρκεια κίνησης (S)	Κατανάλωση ενέργειας(Wh)
Οριζόντια κίνηση	12	1,6	10	0,05
Κατακόρυφη κίνηση	12	1,6	5	0,03
Συνολική κατανάλωση(Wh)				0,08

**Πίνακας 5.3** Κατανάλωση ενέργειας από τους κινητήρες

Όπως παρατηρούμε το ποσό της συνολικής κατανάλωσης σε ενέργεια είναι ελάχιστο σε σχέση με την ενέργεια που παράγεται. Ο υπολογισμός της απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη την κατανάλωση, επιφέρει αμελητέες αλλαγές στο συντελεστή, της τάξης του δεύτερου δεκαδικού ψηφίου. Ενδεικτικά υπολογίστηκαν οι αποδόσεις σε κατάσταση ηλιοφάνειας.(Πίνακας 5.4)

	Σταθερό Φ/Β κλίση 37	Σταθερό Φ/Β κλίση 52	Φ/Β μεταβλητής κλίσης και αζιμούθιο
Ενέργεια (Wh) που παράγεται	327,50	363,64	420,7
Ενέργεια (Wh) που καταναλώνεται	0,00	0,00	0,8
Καθαρή ενέργεια	327,50	363,64	419,9
	Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 37		Μεταβλητό Φ/Β από Σταθερό κλίσης 52
Απόδοση (%)	28,21		15,47

**Πίνακας 5.4** Καθαρές αποδόσεις σε κατάσταση ηλιοφάνειας



### 5.10 Ερμηνεία της μικρής απόδοσης σε σχέση με το σταθερό Φ/Β κλίσης 52°

Όπως φαίνεται από την εικόνα 36, έχουμε μια αύξηση της κλίσης από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου κατά 23,5°, στη διάρκεια από 21 Σεπτεμβρίου μέχρι 21 Δεκεμβρίου. Αυτό σημαίνει ότι ημερησίως η κλίση αυξάνει κατά

$$23,5^\circ / 92 = 0,25^\circ / \text{μέρα}$$

Στις 30 Νοέμβριου η αύξηση της κλίσης είναι:

$$0,25^\circ / \text{μέρα} \cdot 67 \text{ μέρες} = 17^\circ$$

Επομένως η ιδανική κλίση είναι  $37^\circ + 17^\circ = 54^\circ$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διαφορά του συστήματος παρακολούθησης με το ακίνητο σύστημα με κλίσης 52° να οφείλεται, ουσιαστικά μόνο στη οριζόντια κίνηση (μεταβολή του αζιμούθιο).

Αυτό εξηγεί και τα μικρά κέρδη του συστήματος παρακολούθησης του ηλίου από το Φ/Β με κλίση 52°. Το σταθερό σύστημα με κλίση 52° είχε την ιδανική γωνία για μέγιστη απόδοση. Αν οι μετρήσεις γινόταν 21 Δεκεμβρίου ή 21 Σεπτεμβρίου η απόδοση θα ήταν η ελάχιστη για το συγκεκριμένο σύστημα.

### 5.11 Εκτίμηση του κέρδους της κατακόρυφης κίνησης και οριζόντιας κίνησης

Η ενέργεια λοιπόν, που κερδίζει το σύστημα λόγω της μεταβολής του αζιμούθιο, είναι η διαφορά της ενέργειας των δύο παραπάνω συστημάτων. Επίσης η ενέργεια που κερδίζει το σύστημα λόγω της κλίσεως θα είναι η διάφορα της ενέργειας του συστήματος παρακολούθησης από το σταθερό Φ/Β κλίσης 37 και της ενέργειας λόγω της οριζόντιας κίνησης.

	Ενέργεια οριζόντιου άξονα (κλίση)	Ενέργεια κατακόρυφου άξονα (αζιμούθιο)
	Ενέργεια(κινητού Φ/Β - Σταθερό 32- Κατακόρυφου άξονα)	Ενέργεια (κινητού Φ/Β - Σταθερό κλίσης 52)
Καθαρή ενέργεια	36,14	56,26
Απόδοση άξονα (%)	11,04	17,18
Συνολική απόδοση(%)	28,21	

Πίνακας 5.5 Αποδόσεις οριζόντιας και κατακόρυφης κίνησης

Από την παραπάνω ανάλυση μας προκύπτει ότι η κίνηση στον κατακόρυφο άξονα, συνεισφέρει κατά τα 2/3 περίπου στην συνολική απόδοση και η κίνηση στον οριζόντιο άξονα κατά 1/3. Επίσης επιβεβαιώνεται ότι η συνολική απόδοση είναι το άθροισμα των δυο αποδόσεων.

### 5.12 Ανατολή και δύση: το μεγαλύτερο κέρδος στην απόδοση

Αν μελετήσουμε προσεκτικά την μορφή των διαγραμμάτων παρατηρούμε ότι το κέρδος στην απόδοση το έχουμε στην ανατολή και στη δύση του ήλιου. Αυτό φαίνεται από την αριστερή και δεξιά προεξοχή που σχηματίζει η καμπύλη. Το διάγραμμα 5.1, μας δείχνει επιπλέον, ότι λόγω της βαριάς συννεφιάς και της θέσης του ήλιου κοντά στο ηλιακό μεσημέρι, το κέρδος από το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου είναι αμελητέο από το σταθερό σύστημα με κλίση  $52^{\circ}$ . Πράγματι, στο μεσημέρι η οριζόντια κίνηση δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο, παρά μόνο η κλίση, η οποία στη προκειμένη περίπτωση είναι ουσιαστικά ίδια.

Ομοίως στη περίπτωση, της κατάστασης ηλιοφάνειας, το κέρδος είναι στην ανατολή και στη δύση του ήλιου. Σε αυτή τη περίπτωση υπάρχει μια μικρή απόδοση κατά το μεσημέρι του τόπου, που οφείλεται κυρίως, στην μικρή κίνηση της κατασκευής στο οριζόντιο άξονα, αλλά και στη απόκλιση των 2 μοιρών από την ιδανική κλίση.

## Συμπεράσματα

Τα ΦΒ/Θ συστήματα μπορούν να παρέχουν μια σημαντική παραγωγή θερμότητας, χωρίς όμως η θερμοκρασία του ρευστού να φθάνει σε υψηλά επίπεδα, προκειμένου να κρατηθεί η θερμοκρασία του ΦΒ σε χαμηλό επίπεδο. Αυτή η απαίτηση σημαίνει ότι η εφαρμογή των ΦΒ/Θ συστημάτων είναι περιορισμένη για θέρμανση νερού μέχρι τους 35 με 40°C (νερό που προθερμαίνεται για οικιακή χρήση, για πισίνες, για χρήση σε βιομηχανίες, κλπ.), για θέρμανση χώρου και φυσικό εξαερισμό κτηρίων. Λαμβάνοντας υπόψη τις επιπρόσθετες δαπάνες από την προστιθέμενη θερμική μονάδα (μέχρι 10% για το νερό και μέχρι 8% για τον αέρα) παρατηρούμε ότι το επιπλέον κέρδος στην ηλεκτρική απόδοση των υδρόψυκτων και των αερόψυκτων ΦΒ/Θ συστημάτων έναντι του συστήματος PV/FREE (3.2 και 1.6%, αντίστοιχα) είναι χαμηλότερο από το συμπληρωματικό κόστος. Επομένως το κύριο πλεονέκτημα των υβριδικών ΦΒ/Θ συστημάτων έναντι των κοινών ΦΒ είναι η θερμική παραγωγή και όχι η αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης τους.

Στα ΦΒ/Θ συστήματα με χρήση επιπρόσθετης γυάλινης επιφάνειας έχουμε αύξηση της θερμικής παραγωγής αλλά μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης η οποία μπορεί να αντισταθμιστεί με την τοποθέτηση συμπληρωματικού διάχυτου ανακλαστήρα, έχει υπολογιστεί ότι ο συνδυασμός στους με τα ΦΒ/Θ συστήματα (PV/T + REF) αυξάνει το συνολικό κόστος περίπου 4%, αλλά η αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής αυξάνεται κατά 16% (για  $C_t = 1.35$ ). Ο συντελεστής συγκέντρωσης από χειμώνα σε καλοκαίρι κυμαίνεται από 1.35 έως 1.55, κάτι που συνεπάγεται ότι το καλοκαίρι, όπου και παρατηρείται η μεγαλύτερη πτώση της ηλεκτρικής απόδοσης των ΦΒ, η αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής που θα έχουμε με τους διάχυτους ανακλαστήρες θα γίνει ακόμη μεγαλύτερη από 16%.

Επομένως, η χρήση των συμπληρωματικών διάχυτων ανακλαστήρων είναι μια νέα μέθοδος για να μειωθεί το κόστος της συνολικής εγκατάσταση των ΦΒ και μια ελπιδοφόρα εφαρμογή για τα υβριδικά ΦΒ συστήματα.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση είναι τα παρακάτω:

- 1) Η απαγωγή θερμότητας με την κυκλοφορία νερού μέσω εναλλάκτη θερμότητας είναι μεγαλύτερη απ'ότι με κυκλοφορία αέρα, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όπου η θερμοκρασία του νερού που ρέει στους αγωγούς του δικτύου είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- 2) Τα ΦΒ/Θ συστήματα με την πρόσθετη τοποθέτηση γυάλινης επιφάνειας αυξάνουν την θερμική απόδοση, αλλά μειώνουν την ηλεκτρική απόδοση λόγω των οπτικών απωλειών. Η μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης είναι μεγαλύτερη από την αύξηση της θερμικής.
- 3) Η χρήση του συμπληρωματικού διάχυτου ανακλαστήρα αυξάνει και την ηλεκτρική και θερμική απόδοση των ΦΒ/Θ συστημάτων.
- 4) Τα ΦΒ/Θ συστήματα με συμπληρωματικούς διάχυτους ανακλαστήρες έχουν μεγαλύτερο ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης απ'ότι τα ΦΒ/Θ συστήματα με ψύξη με νερό.
- 5) Όταν χρησιμοποιείται αέρας σαν μέσο απαγωγής θερμότητας η τοποθέτηση γυάλινου καλύμματος και διάχυτου ανακλαστήρα αυξάνει τη θερμική απόδοση του ΦΒ/Θ συστήματος δύο φορές περισσότερο από'τι θα αυξανόταν αν χρησιμοποιούταν νερό σαν μέσο απαγωγής θερμότητας.
- 6) Η μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης των ΦΒ με την πρόσθετη τοποθέτηση γυάλινου καλύμματος αντισταθμίζεται με την τοποθέτηση διάχυτων ανακλαστήρων.
- 7) Η βέλτιστη γωνία μεταξύ διάχυτου ανακλαστήρα και ΦΒ πάνελ θα πρέπει να είναι κοντά στις 90°, για να έχουμε πρώτον συντελεστή συγκέντρωσης μεγαλύτερο της μονάδας και δεύτερον ομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο ΦΒ πάνελ.

## Βιβλιογραφία

- Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα: παρούσα κατάσταση και προοπτικές Γ. Βόκας & Χρ. Πρωτογερόπουλος 10ο Εθνικό Συνέδριο για την Ενέργεια
- Τεχνολογία φωτοβολταϊκών και οι δραστηριότητες του ΚΑΠΕ για την ανάπτυξη της στον ελλαδικό χώρο Αλέξανδρος Ζαχαρίου, Χρήστος Πρωτογερόπουλος 1ο Εθνικό Συνέδριο. Τεχνολογίες Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Περιβάλλοντος, Δεκέμβριος 2000
- Σχεδίαση και οικονομικά στοιχεία για υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά ηλιακά συστήματα Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος Ι Σ. Τσελεπής, Μ. Σουλιώτης, J. K. Τονιμίσο Εθνικό Συνέδριο: "Η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας –προοπτικές και προτεραιότητες προς το στόχο του 2010", 23 - 25 Φεβρουαρίου 2005, ΑΘΗΝΑ
- Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, "Φωτοβολταϊκά Συστήματα", Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2007.
- Απόσπασμα από την εφημερίδα ΕΘΝΟΣ 22/5/07 στο άρθρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ))
- ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ Πορτοκαλίδης Σάββας Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ Τμήμα Μελετών
- ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
- Renewable Energy Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275 Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey . (Murat Kacira , , a, Mehmet Simsek b, Yunus Babur c and Sedat Demirkol)
- ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ), [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr), επίσκεψη: 2007

- ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ “Ένας Πρακτικός οδηγός για Φωτοβολταϊκά”, *ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα*
- ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ “ΤΕΧΝΙΚΑ” τεύχος 266

Πηγές από το **internet**:

- [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- [www.helapco.com](http://www.helapco.com)
- [www.photovoltaics.com](http://www.photovoltaics.com)
- [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)
- [www.seners.gr/pages/gr/autonomous.htm](http://www.seners.gr/pages/gr/autonomous.htm)
- [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [http://energypoint.gr](http://http://energypoint.gr)
- [www.solarwall.com](http://www.solarwall.com)
- [www.grenpeace.org/greece](http://www.grenpeace.org/greece)
- [www.texnikoi.gr](http://www.texnikoi.gr)
- [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)
- [www.solar.com.gr](http://www.solar.com.gr)