<< ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ (ΦΒ/Θ) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ>>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία επεξεργάζεται και ασχολείται με τα υβριδικά φωτοβολταϊκά θερμικά συστήματα .Αφού εξηγούνται οι λόγοι ανάπτυξης τους καθώς και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που διέπει την λειτουργία τους, παρουσιάζονται τα πιο διαδομένα συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενεργείας. Επίσης γίνεται εκτενής ιστορική αναδρομή στα συστήματα ενώ μέσω της βιβλιογραφικής αναφοράς υπογραμμίζετε ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται η απόδοση των συστημάτων αυτών. Τέλος, από τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν βγαίνουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα όσον αναφορά την ηλεκτρική και θερμική παραγωγή καθώς και την οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών.

Keywords: ***ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκά (ΦΒ), φωτοβολταϊκα θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ), κυψέλες άμορφου πυριτίου, κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου, απόδοση.***

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΕΡΑ.....16

2.1 ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....17
2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....17
2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ Α.Π.Ε.....19
2.4 ΜΙΑ ΑΝΑΔΙΟΜΕΝΗ ΑΓΟΡΑ.....21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΦΒ).....23

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....24
3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....27
3.2.1 ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ.....27
3.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ..... 28
3.2.3 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ << ΕΝΟΣ ΗΛΙΟΥ>>.....30
3.2.4 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ.....30

3.3 ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ 31
3.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....31
3.3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ.....32

3.3.3 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....34
3.3.4 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ.....34

3.4 ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ......39
3.4.1 ΗΛΙΑΚΑΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....40
3.4.2 ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΙΟΥΧΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ.....45
3.4.3 ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΣΕΝΙΟΥΧΟΥ ΓΑΛΛΙΟΥ.....45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΒ/Θ).....47

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.......48
4.2 ΑΝΑΓΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ (ΦΒ/Θ).....50
4.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.......51
4.3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ.....51
4.3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΑ.....54

4.4 ΤΥΠΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΦΒ/Θ ΣΥΣΚΕΥΩΝ.....55
4.4.1 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΝΕΡΟΥ.....56
4.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....59

4.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΒ/Θ.....60
4.5.1 ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ.....60
4.5.2 ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ.....65
4.5.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....69
4.5.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗ ΜΕ ΤΟ ΡΕΥΣΤΟ.....70

4.5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ.....70
4.5.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΚΕΛΙΟΥ.....71

4.5.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....73

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....74
5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....75
5.3 ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ.....77
5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....80
5.5 ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....83
5.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....83
5.5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....88
5.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥ ΓΙΑ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....92

5.6 ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ.....94
5.7 ΟΙΚΟΝΙΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ.....96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑ.....99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....110

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....113

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄.....118

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'.....142

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄.....152

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ'.....156

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

● **Σχήμα 2.1** : Συγκριτικό διάγραμμα ΑΠΕ.

● **Σχήμα 2.2** : Παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ανά έτος.

● **Σχήμα 3.1** : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών (ΦΒ) σε ταράτσα κτιρίου.

● **Σχήμα 3.2** : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών (ΦΒ) σε στέγες κτιρίων.

● **Σχήμα 3.3** : Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη των φωτοβολτασϊκών.

● **Σχήμα 3.4** : Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μελανός σώματος θερμοκρασίας 5800 K (εξωτερική συνεχής γραμμή), το φάσμα της ίδιας πηγής ύστερα από απορροφήσεις από το όζον και από σκεδάσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (ασυνεχής γραμμή), και το πραγματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες μέτριας υγρασίας (εσωτερική συνεχής γραμμή).

● **Σχήμα 3.5** : Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό ηλιοστάσιο.

● **Σχήμα 3.6** : Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης.

● **Σχήμα 3.7** : Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μία ηλιακή κυψέλη.

● **Σχήμα 3.8** : Καμπύλη IV μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ).

● **Σχήμα 3.9** : Παραγωγή ρεύματος και τάσης ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.

● **Σχήμα 3.10** : Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς , καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις .Rs Rsh

● **Σχήμα 3.11** : Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου.

● **Σχήμα 3.12** : Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες IV μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

● **Σχήμα 3.13** : Κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

● **Σχήμα 3.14** : Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

● **Σχήμα 3.15** : Κυψέλη άμορφου πυριτίου.

● **Σχήμα4.1**:Θερμική μονάδα απολαβής θερμότητας ενσωματωμένη σε φωτοβολταϊκό σύστημα.

● **Σχήμα 4.2** : Οι κυριότερες διαστάσεις της θερμικής μονάδας.

● **Σχήμα 4.3** : Τυπικό φωτοβολταϊκό θερμικό (ΦΒ/Θ) σύστημα.

● **Σχήμα 4.4** : Διάταξη επίπεδου συλλέκτη.

• **Σχήμα 4.5** : Διάταξη συλλέκτη (ΦΒ/Θ) με κανάλια.
• **Σχήμα 4.6** : Διάταξη ελεύθερης ροής (ΦΒ/Θ) συλλέκτη.
• **Σχήμα 4.7** : Διάταξη (ΦΒ/Θ) συλλέκτη διπλής απορρόφησης.
• **Σχήμα 4.8** : Καμπύλες θερμικής απόδοσης από πειραματικά αποτελέσματα.
• **Σχήμα 4.9** : Καμπύλη θερμοκρασίας κελιού σε σχέση με την ισχύς του φωτοβολταϊκού και του χρόνου.
• **Σχήμα 4.10** : Καμπύλη εξέργειας.
• **Σχήμα 4.11** : Καμπύλη θερμικής παραγωγής.
• **Σχήμα 4.12** : Θερμική παραγωγή για τους διάφορους τύπους (ΦΒ/Θ) συλλεκτών.
• **Σχήμα 4.13** : Ηλεκτρική παραγωγή για του διάφορους τύπους (ΦΒ/Θ) συλλεκτών.
• **Σχήμα 4.14** : Θερμική παραγωγή σαν συνάρτηση του W/D.
• **Σχήμα 4.15** : Ηλεκτρική παραγωγή σαν συνάρτηση του W/D.
• **Σχήμα 4.16** : Θερμική παραγωγή σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου.
• **Σχήμα 4.17** : Ηλεκτρική παραγωγή σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου.
• **Σχήμα 4.18** : Ηλεκτρική απόδοση σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου.
• **Σχήμα 4.19** : Εξομοίωση παραγωγής με και χωρίς ψύξη.
• **Σχήμα 4.20** : Συνδυασμός (ΦΒ/Θ) συσκευών με επίπεδους διάχυτους ανακλαστήρες σε διάταξη οριζόντιας οροφής κτιρίου.
• **Σχήμα 5.1** : Διαστάσεις επίπεδου συλλέκτη.
• **Σχήμα 5.2** : Γραφική παράσταση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας.
• **Σχήμα 5.3** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές χωρίς κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
• **Σχήμα 5.4** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές με κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
• **Σχήμα 5.5** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
• **Σχήμα 5.6** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
• **Σχήμα 5.7** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές χωρίς κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.

● **Σχήμα 5.8** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές με κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.
● **Σχήμα 5.9** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.
● **Σχήμα 5.10** : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για (ΦΒ/Θ) συσκευές χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου
● **Σχήμα 5.11**: Συγκριτικό διάγραμμα ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
● **Σχήμα 5.12** :Συγκριτικό διάγραμμα αποδιδόμενου θερμικού φορτίου.
● **Σχήμα 5.13** : Συγκριτικό διάγραμμα αποδιδόμενου ηλεκτρικού φορτίου.
● **Σχήμα 5.14** : Σύγκριση της ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού.
● **Σχήμα 5.15** : Σύγκριση της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και της παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού.
● **Σχήμα 5.16** : Σύγκριση θερμικού φορτίου των διαφόρων διατάξεων (ΦΒ/Θ) συσκευών με τις θερμοσιφωνικές ανάγκες για οικογένειες τεσσάρων ατόμων.
● **Σχήμα 6.1** : Η όλη κατασκευή της φ/β μονάδας .
● **Σχήμα 6.2** : Η χαρακτηριστική καμπύλη του χρησιμοποιηθέντος φβ .
● **Σχήμα 6.3** : Η χαρακτηριστική από τη θερμοκρασία του φβ στοιχείου και η πτώση του βαθμού απόδοσης του.
● **Σχήμα 6.4** : Σκαρίφημα όλων των διατάξεων που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- **Πίνακας 3.1** : Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass).
- **Πίνακας 3.2** : Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών.
- **Πίνακας 4.1** : Θερμικές και ηλεκτρικές αποδόσεις διαφόρων σχεδιαστικών τύπων (ΦΒ/Θ) συσκευών.
- **Πίνακας 5.1** : Βαθμοί απόδοσης από πειραματικές μετρήσεις για ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
- **Πίνακας 5.2** : Βαθμοί απόδοσης από πειραματικές μετρήσεις για ημιαγωγούς άμορφου πυριτίου.
- **Πίνακας 5.3**: Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης 14.
- **Πίνακας 5.4** : Αποτελέσματα μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας όπως αυτά προέκυψαν από τις πειραματικές σχέσεις.
- **Πίνακας 5.5** : Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, μέσης θερμοκρασίας αέρα, και μέσης θερμοκρασίας νερού δικτύου ανά μήνα.
- **Πίνακας 5.6** : Αποτελέσματα μηνιαίας ηλεκτρικής θερμικής ενέργειας για τις διατάξεις (ΦΒ/Θ) συσκευών με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
- **Πίνακας 5.7**: Αποτελέσματα μηνιαίας ηλεκτρικής θερμικής ενέργειας για τις διατάξεις (ΦΒ/Θ) συσκευών με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου
- **Πίνακας 5.8** : Θερμικές ανάγκες που απαιτούνται ανά μήνα για διαμέρισμα τεσσάρων ατόμων.
- **Πίνακας 5.9** : Κόστος αγοράς κάθε συστήματος.
- **Πίνακας 5.10** : Ετήσιου κέρδους, ετήσιας απόσβεσης, και τελικού αποτελέσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο
"ΕΙΣΑΓΩΓΗ"

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή ενέργειας λόγω της εκτεταμένης εκπομπής των βλαβερών αερίων παρουσιάζει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές, έχουν παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια δραματική αύξηση και εμφανίζονται στον άνθρωπο με την μορφή των αναπνευστικών παθήσεων και του καρκίνου, ενώ στο περιβάλλον με την μορφή της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης (φαινόμενο θερμοκηπίου) και την όξινη βροχή.

Επίσης, τα αποθέματα ενέργειας ελαττώνονται και η αναπλήρωση τους γίνεται με ρυθμό βραδύτερο από ότι η κατανάλωση τους, οδηγώντας έτσι την ανθρωπότητα σε σοβαρή κρίση.

Η επίλυση των συγκεκριμένων προβλημάτων είναι αναγκαία περισσότερο σήμερα παρά ποτέ. Η ανάπτυξη των εναλλακτικών πηγών ενέργειας προβάλει ως ιδανική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δεν είναι καινούργια ανακάλυψη, αφού είχαν χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα σε διάφορες εφαρμογές.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους, που προκάλεσε και το "πάγωμα" της τεχνολογική τους ανάπτυξης για αρκετές δεκαετίες, είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής και παραγωγής της ενέργειας εν συγκρίσει με το πετρέλαιο. Όμως ο διεθνής προβληματισμός πάνω στα περιβαλλοντικά θέματα και στην προστασία του πλανήτη καθιστά επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογιών για την εκμετάλλευση των εναλλακτικών πηγών ενέργεια που να είναι βέβαια και ανταγωνιστικές οικονομικά.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την μελέτη των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (ΦΒ/Θ) συστημάτων.Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ) είναι ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια.

Το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) κύτταρα δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, αλλά σε θερμότητα, η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους με συνέπεια την μείωση της ηλεκτρική τους απόδοσης. Η απαγωγή της θερμότητας από τα (ΦΒ) πλαίσια βοηθά όχι μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας τους αλλά μπορεί και να αξιοποιηθεί αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή τους απόδοσης.

Οι εφαρμογές τους διεθνώς είναι περιορισμένες. Ο βασικός λόγος είναι ότι το κόστος τους ως προς τις άλλες τεχνολογίες για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμες πηγών ενέργειας. Όμως η οικονομία της κλίμακας λόγω των ανταγωνιστικών τους πλεονεκτημάτων (δυνατότητα εγκατάστασης τους σε αστικές περιοχές, μεγάλο ηλιακό δυναμικό, αισθητικές λύσεις, κ.λ.π) έχει καταστήσει αυτά τα συστήματα ενδιαφέρον πεδίο ενασχόλησης. Έτσι στα πλαίσια της εργασία αυτής γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν οι διάφοροι τύποι των υβριδικών φωτοβολταϊκών θερμικών ΦΒ/Θ συστημάτων (συστήματα νερού και αέρα). Επιπλέον, επειδή το ερευνητικό ενδιαφέρον της εργασίας αυτή επικεντρώθηκε στα φωτοβολταϊκά θερμικά (ΦΒ/Θ) συστήματα νερού αφιερώθηκε μια ενότητα στην ιστορική διαδρομή των συστημάτων αυτών. Δηλαδή στην παρουσίαση της αλληλουχίας των γεγονότων που έφεραν τα συστήματα αυτά στην μορφή που είναι στις μέρες μας.

Μέσα από την έρευνα που έγινε πάνω στις διάφορες μελέτες που έκαναν ερευνητές στην Ελλάδα και το εξωτερικό, κατέστη σαφές ότι στα συστήματα αυτά ανάλογα με την διαμόρφωση των ΦΒ/Θ συσκευών, και τον τύπο του ημιαγωγού που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, διαφοροποιείται η συμπεριφορά τους όσο αναφορά τον ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης. Έτσι σκοπός της εργασία αυτής ήταν να αξιολογηθούν , να συγκριθούν και να σχολιασθούν τα συστήματα αυτά ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για μελλοντικές έρευνες πάνω στο πεδίο των υβριδικών φωτοβολταϊκών θερμικών (ΦΒ/Θ) συσκευών νερού. Για τους

υπολογισμούς που έγιναν χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικοί τύποι που δίνουν τους ηλεκτρικούς και θερμικούς βαθμούς των κυριότερων διαμορφώσεων (ΦΒ/Θ) συσκευών. Από αυτούς τους τύπους και αφού πρώτα είχε υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία από στατιστικούς τύπους για εγκατάσταση στην περιοχή της Αθήνας υπολογίστηκε η θερμική και ηλεκτρική ενέργεια για κάθε διαμόρφωση όπου με τη χρήση κατάλληλων διαγραμμάτων προέκυψαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Για την πληρότητα της εργασία αυτής πριν γίνει η παρουσίαση των φωτοβολταϊκών θερμικών συστημάτων (ΦΒ/Θ) κρίθηκε σκόπιμο να γίνει αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο καθώς επίσης και μια εισαγωγική παρουσίαση της θεωρίας των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) στοιχείων (τύποι των ημιαγωγών και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο
"Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΕΡΑ"

2.1 ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ενέργεια είναι δυνατόν να υπάρχει υπό πολλές μορφές μέσα σε ένα σύστημα και μπορεί να μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη, με περιορισμό τον νόμο διατήρησης. Οι διάφορες αυτές μορφές ενέργειας μπορεί να είναι: δυναμική, κινητική, θερμική, ελαστική, ηλεκτρική, χημική, πυρηνική κ.λ.π. Επί πλέον, υπάρχουν η θερμότητα και το έργο, δηλαδή ενέργεια σε φάση μετάβασης από ένα σώμα σε ένα άλλο.

Η ενέργεια μπορεί να αλλάξει μορφή, όμως η συνολική ποσότητα ενέργειας σε ένα μεμονωμένο σύστημα δεν μπορεί να μεταβληθεί. Έτσι, η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί (εκ του μηδενός) ούτε να καταστραφεί. Η διατύπωση αυτή συνοψίζει πολλές πειραματικές διατυπώσεις από την μετατροπή ενέργειας και αυτό είναι χρήσιμο στη λύση πολλών προβλημάτων που συνεπάγονται ενεργειακές μεταβολές. Ορισμένες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται ως ανανεούμενες ή ανανεώσιμες για το λόγο ότι παράγονται συνεχώς από άλλες πρωτογενείς. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν την ηλιακή ενέργεια, την αιολική, τις υδατοπτώσεις, τη γεωθερμική, την παλιρροιακή, τη βιομάζα, και την ωκεανοθερμική ενέργεια.

Η ηλιακή ακτινοβολία, έξω από την γήινη ατμόσφαιρα είναι 21,4 Kw / m^2 , εκφρασμένη σε μονάδες Q (όπου Q = 10^{18} BTU). Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσβάλει τη γη σε ένα χρόνο είναι 5000 Q. Περισσότερο από το μισό αυτής της ποσότητας φθάνει στην επιφάνεια της γης, όπου 900 Q ανά έτος απορροφώνται από το έδαφος και το υπόλοιπο από τα ύδατα. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργεια όπου απορροφάτε κάθε χρόνο με τη μέθοδο της φωτοσύνθεσης στη βλάστηση γενικά εκτιμάται σε 0,15 Q.

2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η ενέργεια αποτέλεσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινής δραστηριότητας. Σε όλη την ιστορική του πορεία ο άνθρωπος χρησιμοποίησε προς όφελος του όλες τις μορφές ενέργειας που του έδινε η φύση (δύναμη του ανέμου, του νερού, του ήλιου και της φωτιάς) με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης.

Στους πρόσφατους αιώνες, η παραγωγή της ενεργείας γίνεται συνήθως σε μεγάλους θερμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ισχύος δεκάδων, εκατοντάδων ή χιλιάδων MW, που καταναλώνουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο, ουράνιο και άλλα σχάσιμα υλικά ή χρησιμοποιούν υδατοπτώσεις. Όλες όμως αυτές οι ενεργειακές πηγές έχουν περιορισμένες σχετικά προοπτικές αφού τα συμβατικά και τα πυρηνικά καύσιμα εξαντλούνται βαθμιαία αλλά και η υδραυλική ενεργεία είναι ποσοτικά καθορισμένη και γεωγραφικά εντοπισμένη. Όλα αυτά αποτέλεσαν την αιτία της πετρελαϊκής κρίσης, που εκδηλώθηκε το 1973 με τον απότομο τετραπλασιασμό της τιμής του αργού πετρελαίου και ακολουθήθηκε με άλλες διαδοχικές αυξήσεις τα επόμενα χρόνια.Είναι επομένως φανερή η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος, τουλάχιστον ως προς την μελλοντική αντιμετώπιση των αναγκών της ανθρωπότητας σε ηλεκτρισμό.

Συνάμα, τα τελευταία χρόνια άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων. Ενώ η πυρηνική ενέργεια που κατά τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης της είχε δώσει ελπίδες για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού

προβλήματος σκεπάστηκε από σκεπτικισμό και αμφισβήτηση λόγω των δύο πολύ σοβαρών ατυχημάτων που έγιναν στους πυρηνικούς σταθμούς του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας το 1979 και του Τσερνομπιλ της Ουκρανίας το 1986 που είχαν ολέθριο αντίκτυπο στο οικοσύστημα μέχρι τις μέρες μας. Τα δραματικά αυτά γεγονότα ήρθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας [71].

Όλα τα μηνύματα έδειχναν πια καθαρά, ότι η συνέχισης της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και την αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Είναι πολύ σημαντικό και επιπλέον πολύ χρήσιμο για την ορθή επιλογή των μέτρων περιβαλλοντικής αποκατάστασης, να συνειδητοποιήσουμε το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου σε κλιματικές μεταβολές. Απαιτούνται δεκαετίες για να διαπιστωθούν τα πρώτα ενθαρρυντικά θετικά αποτελέσματα, των όποιων σημερινών διορθωτικών επεμβάσεων μας στο οικολογικό σύστημα[70].

Η διάσκεψη στο Ρίο, το καλοκαίρι του 1992, προσδιόρισε το πρόβλημα στις πραγματικές του διαστάσεις, προδιαγράφοντας άμεσες ενέργειες και επεμβάσεις. Τα επιστημονικά στοιχεία για τη σχέση της βιομηχανικής δραστηριότητας με τις αρνητικές κλιματικές αλλαγές, την οικολογική υποβάθμιση και το δυσοίωνο μέλλον του πλανήτη μας, ήταν συντριπτικά. Παρά ταύτα, οι τρόποι αντιμετώπισης και ο έλεγχος εφαρμογής τους δεν βρήκαν όλες τις κυβερνήσεις σύμφωνες λόγω των μεγάλων συμφερόντων που διακυβεύονταν.

Στην επόμενη, όμοια διάσκεψη, στο Κιότο της Ιαπωνίας, το Δεκέμβριο του 1997, καταβλήθηκε προσπάθεια για μια νέα συμφωνία, βασισμένη σε πιο δραστικά μέτρα .

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο τελευταία παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος που επιδεικνύουν οι κυβερνήσεις, οι ενεργειακοί σχεδιαστές, οι εταιρείες ηλεκτρισμού και οι ιδιώτες για την ένταξη των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργεια (ΑΠΕ) στο χαρτοφυλάκιο ενεργειακής τροφοδοσίας. Μακροπρόθεσμος στόχος της Ευρωπαϊκής πολιτικής είναι η σημαντική συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (12% το έτος 2010) προερχομένων από την Ευρώπη, η οποία ειδικά για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής προγραμματίζεται να ανέλθει στο 22,1% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρισμού μέχρι το 2010 (12,5% χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά) [73].

Έτσι δημιουργείται ένα πολύ ευνοϊκό κλίμα για την αναζήτηση και εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η γενική τάση ήταν προς ανανεώσιμες (μη εξαντλήσιμες) πηγές, σε αντιδιαστολή με τα συμβατικά καύσιμα και τις υδατοπτώσεις και προς ήπιες μορφές σε αντιδιαστολή με την πυρηνική ενέργεια.

Οι πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες ΑΠΕ σήμερα βασίζονται στον άνεμο, τη βιομάζα και την ηλιακή ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και για την παραγωγή θερμότητας [7] . Προς το παρόν οι εφαρμογές ΑΠΕ αφορούν κυρίως μια τεχνολογία ΑΠΕ και όχι συνδυαστικές τεχνολογίες π.χ αιολικά πάρκα, φωτοβολταικά πάρκα κλπ.

Η ηλιακή ενεργεία είναι μια πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχομένη αξιοποίηση βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε σημαντική κλίμακα για την παραγωγή θερμότητας με σκοπό τη θέρμανση νερού στους οικιακούς θερμοσίφωνες, τη θέρμανση χώρων και πολλές άλλες οικιακές , γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις. Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταικών γεννητριών. Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα,

θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς [α] χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, [β] δεν έχουν κινούμενα μέρη, [δ] παράγουν τον ηλεκτρισμό στο σημείο της κατανάλωσης, και [γ] παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας [72].

Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης στο πεδίο των ΑΠΕ βρίσκονται σε συμφωνία με τις εθνικές και Ευρωπαϊκές πολιτικές για την ενέργεια, και από το πρόγραμμα πλαίσιο της Ε.Ε έχουν διατεθεί σημαντικές χρηματοδοτήσεις για την ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ ιδιαίτερα των υβριδικών. Έτσι στο παρόν πόνημα θα ασχοληθούμε με την μελέτη υβριδικού (φωτοβολταϊκούθερμικού) συστήματος συλλεκτών για την θέρμανση νερού χρήσης. Η ανάγκη ανάπτυξης αυτών των συστημάτων προέκυψε λόγω του ότι το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό αλλά σε θερμότητα, η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους με συνέπεια την μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Η απαγωγή της θερμότητας γίνεται από ειδικές μονάδες απαγωγής θερμότητας ενσωματωμένες στο πίσω μέρος των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η απαγωγή της θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βοηθά όχι μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας του αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή τους απόδοση [12,13].

2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ

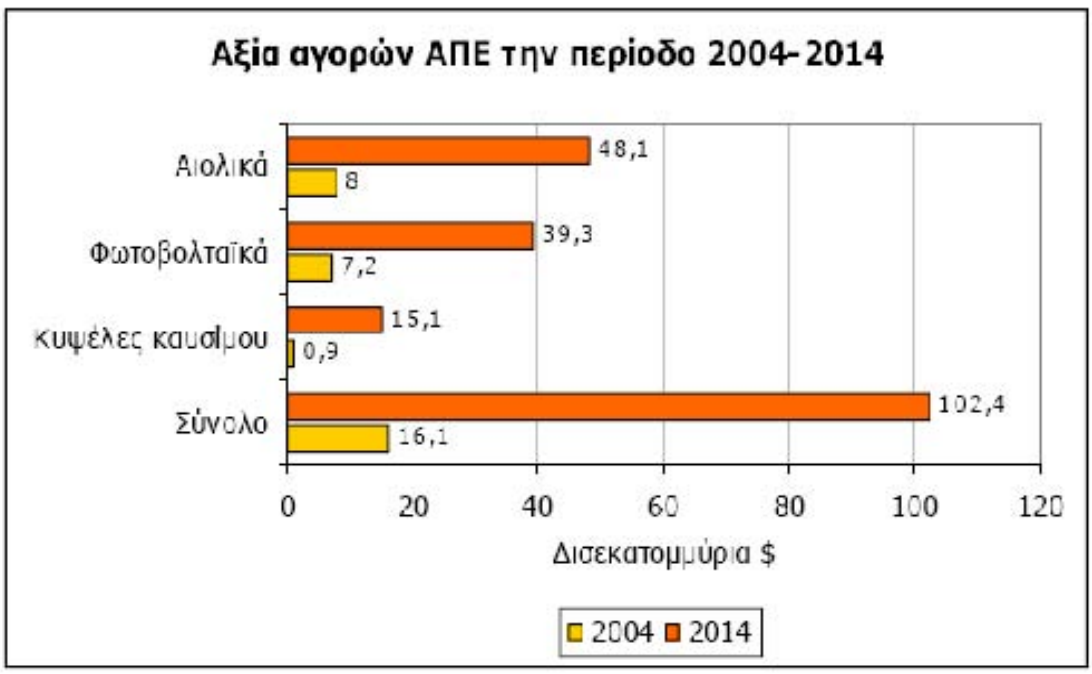
Οι καλές προθέσεις είναι πάντα ευπρόσδεκτες, δεν αρκούν όμως για να ανατρέψουν μία πραγματικότητα που όλοι συμφωνούν πως πρέπει να αλλάξει. Γι' αυτό και η στοχοθέτηση και οι κανονιστικές διατάξεις με αυστηρά χρονοδιαγράμματα αποτελούν μια ουσιαστική εγγύηση για να μπορέσουμε να έχουμε πρακτικά αποτελέσματα. Στην κατεύθυνση αυτή κινείται και η κοινοτική οδηγία 2001/77 "Για την προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας". Στην εσωτερική αγορά ηλεκτρισμού της Ε.Ε. στρατηγικός στόχος είναι η δημιουργία ενός πλαισίου για τη σημαντική αύξηση μεσοπρόθεσμα του προερχόμενου από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρισμού στην Ε.Ε και η διευκόλυνση της πρόσβασης του σε αυτόν (εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας).

Η προώθηση του ηλεκτρισμού από ΑΠΕ αποτελεί πρώτη προτεραιότητα. Η Λευκή Βίβλος για τις ΑΠΕ του 1997 ανέδειξε τον καίριο ρόλο τους σε σχέση με την ασφάλεια της τροφοδοσίας, για την απασχόληση και το περιβάλλον, και πρότεινε έναν ενδεικτικό στόχο διπλασιασμού του μεριδίου των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ε.Ε από 6 σε 12% μέχρι το 2010. Ο στόχος αυτός επικυρώθηκε από το Συμβούλιο το 1998. Ειδικότερα όσον αναφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η αυξημένη χρήση ηλεκτρισμού από ΑΠΕ θα αποτελέσει ένα σημαντικό τμήμα των δράσεων που θα απαιτηθούν ώστε να εκπληρωθούν οι δεσμεύσεις που υιοθετήθηκαν από την Ε.Ε στο Κιότο σχετικά με την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου [73].

Το μερίδιο του 12% των ΑΠΕ συνολικά στην ακαθάριστη εσωτερική ενεργειακή κατανάλωση της Λευκής Βίβλου έχει μεταφραστεί σε ένα συγκεκριμένο μερίδιο κατανάλωσης ηλεκτρισμού παραγόμενο από ΑΠΕ (22,1%, ή 12,5% χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά), και η προώθηση των ΑΠΕ πρέπει να συνεισφέρει στην επίτευξη αυτού του συγκεκριμένου μεριδίου. Για την Ελλάδα, ο αντίστοιχος ενδεικτικός στόχος είναι η κάλυψη του 20,1% της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ(περιλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων) ως το 2010 [73].

Τα κράτη Μέλη πρέπει να καθορίσουν εθνικούς στόχους τόσο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όσο και για τη διείσδυση των ΑΠΕ. Η πρόταση περιλαμβάνει ποσοτικές ενδείξεις για τους στόχους που πρέπει να επιλεγούν από τα επιμέρους Κράτη Μέλη και τα μέτρα που απαιτούνται για την επίτευξη τους σε διάστημα όχι μεγαλύτερο του ενός έτους από την εφαρμογή της Οδηγίας. Η επιτροπή έχει ως υποχρέωση να προτείνει τροποποιήσεις στους εθνικούς στόχους, εάν αυτοί δεν συνάδουν με τους στόχους της κοινότητας. Η Ισλανδία έγινε, για παράδειγμα, η πρώτη χώρα που ανακοίνωσε την απόλυτη απεξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα ως το 2030 και τη στροφή της σε μια "οικονομία του υδρογόνου" . Η Βρετανία (στην πρόσφατη Λευκή Βίβλο για την Ενέργεια που παρουσίασε στις αρχές του 2003) σχεδιάζει να περιορίσει τις εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων κατά 60% ως το 2050, ενώ παράλληλα αποφάσισε να καταργήσει τους ανθρακικούς σταθμούς της ως το 2016 και ταυτόχρονα χρηματοδοτεί την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων ισχύος 6.000 MW (μεγαβάτ) ως το 2010 . Η Δανία σκοπεύει να καλύψει το 50% των αναγκών της σε ηλεκτρισμό από αιολικά ως το 2030 (το 2001 τα αιολικά κάλυπταν ήδη το 15% των συνολικών αναγκών της χώρας). Η Γερμανία είναι έτοιμη να περικόψει τις εκπομπές της κατά 40% ως το 2020 (σε σχέση με το 1990 το οποίο θεωρείται έτοςβάση για την καταγραφή των εκπομπών από το Πρωτόκολλο του Κιότο) αρκεί η Ευρωπαϊκή Ένωση να δεσμευτεί για αντίστοιχη μείωση κατά 30%, ενώ η Γαλλία κάλεσε τις αναπτυγμένες βιομηχανικά 51 χώρες να περιορίσουν τις εκπομπές τους κατά 80% ως τα μέσα του αιώνα. Τέλος, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δια στόματος του προέδρου της Ρομάνο Πρόντι,υπόσχεται ένα ενεργειακό μέλλον απαλλαγμένο από τα ορυκτά καύσιμα στον ίδιο χρονικό ορίζοντα [73].

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται σχηματοποιημένα τα αποτελέσματα της έκθεση που παρουσιάστηκε από την εταιρία Clean Edge και αποτυπώνετε ενάργεια η τάση προς τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ). Βάση αυτής της έκθεσης εκτιμάται η βιομηχανίας φωτοβολταϊκών θα εκτιναχθεί από τα 7,2 δις δολάρια το 2004 στα 39,2 δις δολάρια το 2014, ενώ και οι υπόλοιπες τεχνολογίες εκτιμάται ότι θα αναπτυχθούν ισότιμα [74].



Σχήμα 2.1: Συγκριτικό διάγραμμα αγορών ΑΠΕ.

2.4 ΜΙΑ ΑΝΑΔΙΟΜΕΝΗ ΑΓΟΡΑ

Σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (ΙΕΑ) η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση μέχρι το 2030 θα έχει αυξηθεί κατά 59%. Αυτή η πρόβλεψη αύξησης οφείλεται κατά κύριο στη δημογραφική έκρηξη, στον εξηλεκτρισμό περιοχών που μέχρι πρότινος δεν είχαν πρόσβαση στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειάς καθώς και στον εκβιομηχανισμό χωρών με πολύ υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης όπως η Κίνα και η Ινδία. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο τα ορυκτά καύσιμα θα καλύψουν το 85% ενώ το υπόλοιπο 15% θα καλυφθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) [74]. Αυτή η εκτίμηση βάζει δυναμικά στο παιχνίδι της ηλεκτροπαραγωγής τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Πιο συγκεκριμένα η διεθνής αγορά φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια κινείται με πρωτόγνωρους ρυθμούς ανάπτυξης, κυρίως χάρη στα προγράμματα τριών χωρών που αποτελούν το βαρόμετρο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής: της Ιαπωνίας, της Γερμανίας και των ΗΠΑ. Νέοι δυναμικοί παίκτες, όπως η Κίνα και η Ισπανία μπαίνουν δυναμικά στο παιχνίδι, με νέες παραγωγικές μονάδες και γενναία μέτρα στήριξης και ενθάρρυνσης του ηλιακού ηλεκτρισμού. Παρόλο που οι εκτιμήσεις διαφόρων φορέων αποκλίνουν μεταξύ τους, όλοι συμφωνούν στους εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης των τελευταίων χρόνων. Έτσι, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του περιοδικού PHOTON International,η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών έφτασε το 2004 τα 1.256 μεγαβάτ (MW), μια αύξηση 67% σε σχέση με το 2003 [74].

Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχει την δυνατότητα να ενταχθεί σε όλους τους χώρους (αυτόνομα συστήματα, κεντρικά συστήματα, Φ/Β ενσωματωμένα στα κτίρια παράγοντας ενέργεια που θα διοχετεύεται στο δίκτυο, κλπ.). Ενώ αποτελούν τη μόνη τεχνολογία (ΑΠΕ) που μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε αστικό περιβάλλον [6]. Σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελούν : η δυνατότητα εξεύρεσης αισθητικών λύσεων που δεν επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον και η επεκτασιμότητα των Φ/Β συστημάτων και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) [8]. Επιπλέον, τα Φ/Β συστήματα συμβάλλουν στην καλύτερη ποιότητα ηλεκτρικού ρεύματος αφού μειώνονται οι ηλεκτρικές απώλειες μεταφοράς του ρεύματος παράγοντας την ενέργεια στο σημείο της κατανάλωση [9]. Όμως το σχετικά υψηλό κόστος συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας περιορίζει το ρυθμό ανάπτυξης της αγορά των φωτοβολταϊκών. Τα φωτοβολταϊκά δείχνουν εγκλωβισμένα σε ένα φαύλο κύκλο, στο γνωστό πρόβλημα της "κότας με το αυγό". Η δυναμική όμως της αγοράς που απορρέει από την ανάγκη για βιώσιμη ενεργειακά ανάπτυξη που δεν θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα ζωής της παρούσας γενιάς αλλά και των μελλοντικών γενεών καθώς και των ευαίσθητων οικοσυστημάτων παρουσιάζεται σαν εχέγγυο για την ανοδική πορεία και την ευρεία εξάπλωση των συστημάτων αυτών. Δηλαδή μία οικονομία κλίμακας όπου το κόστος πέφτει ανάλογα με τη δυναμική της αγοράς. Προσπαθώντας να σπάσουν αυτόν τον φαύλο κύκλο, πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των Φ/Β, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης Φ/Β, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η παγκόσμια ετήσια παραγωγή φωτοβολταικών στοιχείων συμφωνά με τα στοιχεία του περιοδικού PHOTON International [74].

Σχήμα 2.2: Παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ανά έτος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο
"ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ (ΦΒ)"

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

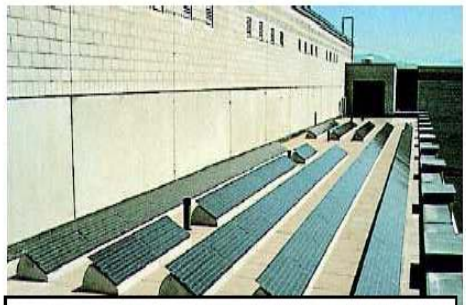
Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία , γνωστά ως "φωτοβολταϊκά" ή "Φ/Β", αποτελούν μια προσέγγιση υψηλής τεχνολογίας για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο όρος "φωτό" προέρχεται από το φως, το δε "βόλτ" οφείλεται στον Ιταλό φυσικό κόμη Alessandro Volta (17451827), ένα πρωτοπόρο στη μελέτη του ηλεκτρισμού, ο οποίος εφεύρε τη μπαταρία. Η ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινόμενου αποδίδεται στο Γάλλο φυσικό, Henry Becquerel, ο οποίος δημοσίευσε το 1839 μια εργασία του, όπου περιέγραφε πειράματα που έκανε με μια μπαταρία υγρού, στην διάρκεια των οποίων διαπίστωσε ότι η τάση του συσσωρευτή αύξανε όταν οι πλάκες από υγρό εκτίθενται στο ηλιακό φως [70,71].

Έτσι, "φωτοβολταϊκό" στην κυριολεξία σημαίνει "φωτοηλεκτρικό". Εννοιολογικά, στην απλούστερη της μορφή μια Φ/Β διάταξη είναι μία ηλιακά τροφοδοτούμενη μπαταρία, όπου το μόνο αναλώσιμό της είναι το φως που την τροφοδοτεί. Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, η λειτουργία είναι φιλική προς το περιβάλλον και εάν η διάταξη προστατεύεται σωστά από την επίδραση του περιβάλλοντος, κανένα τμήμα της δεν υφίσταται φθορά.

Το 1871 οι Adams και Day, περιέγραψαν τις μεταβολές των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως. Το σελήνιο είναι ένα μη-μεταλλικό στοιχείο, παρόμοιο με το θείο. Το 1883 ο Charles Edgar Fritts, ηλεκτρολόγος από τη Νέα Υόρκη, κατασκεύασε ένα ηλιακό στοιχείο από σελήνιο το οποίο, σε γενικές γραμμές παρουσίαζε ομοιότητες με τα σημερινά Φ/Β στοιχεία από πυρίτιο. Το ηλιακό στοιχείο ήταν κατασκευασμένο από λεπτά στρώματα σεληνίου με κάλυψη από λεπτά ημιδιαφανή χρυσά σύρματα και φύλο γυαλιού για προστασία. Όμως ο βαθμός απόδοσης ήταν πολύ μικρός.

Το 1948, δύο ερευνητές οι Bardeen και Brattain, κατασκεύασαν μια επαναστατική συσκευή με ημιαγωγούς, το transistor. Τα transistor κατασκευάζονται σε καθαρή κρυσταλλική μορφή, όπου εισάγονται προσεκτικά πολύ μικρές ποσότητες προσμίξεων, όπως το βόριο ή ο φωσφόρος (διαδικασία γνωστή ως doping). Οι ημιαγωγοί είναι μη μεταλλικά υλικά όπως, το πυρίτιο, των οποίων οι ηλεκτρικές ιδιότητες βρίσκονται μεταξύ των αγωγών (μικρή αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων) και των μονωτών (μεγάλη αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων).

Η μεγάλη όμως ώθηση προς τις πρακτικές εφαρμογές της φωτοβολταϊκής μετατροπής δόθηκε με την πραγματοποίηση ορισμένων κρίσιμων τεχνολογικών προόδων. Πιο συγκεκριμένα το 1953 στα Bell Telephone Laboratories (Bell Labs) του New Jersey των ΗΠΑ, η ομάδα των D. Chapin , C.Fuller και G. Pearson, που ερευνούσαν την επίδραση του φωτός στους ημιαγωγούς, κατασκεύασαν στοιχεία από πυρίτιο με προσμίξεις που ήταν πιο αποδοτικά. Ενώ το 1954 κατάφεραν να κατασκευάσουν ηλιακών στοιχείων σημαντικής απόδοσης (6%) και ακόμα μεγαλύτερης (14%) το 1972. Πάντως, η αξιοπιστία τους είχε ήδη αποδειχθεί πολύ νωρίτερα, όταν τα πρώτα ηλιακά στοιχεία πυριτίου που τοποθετήθηκαν στον τεχνητό ερευνητικό δορυφόρο Vanguard 1, τον Μάρτη του 1958 όχι μόνο πέτυχαν να τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τον πομπό του στην προβλεπόμενη λιγόμηνη διάρκεια του προγράμματος, αλλά εξακολούθησαν να λειτουργούν χωρίς προβλήματα επί έξι συνολικά χρόνια, και μάλιστα στο πολύ εχθρικό διαστημικό περιβάλλον, με την έντονη κοσμική ακτινοβολία. Έτσι από το 1969 και ύστερα όλοι οι τεχνητοί δορυφόροι και τα άλλα διαστημικά οχήματα,



Σχήμα 3.1 : Εφαρμογή ΦΒ σε ταράτσα κτιρίου.

Σχήμα 3.2: Εφαρμογή ΦΒ σε στέγες κτιρίων.

είναι εξοπλισμένα με ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία [11,71].

Επειδή το φως του ήλου είναι διαθέσιμο παντού, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις έχουν πολλά πρόσθετα οφέλη που τις καθιστούν εφαρμόσιμές και αποδεκτές από όλους τους κατοίκους τουπλανήτη.

Τα Φ/Β συστήματα είναι πολύ συναρτησιακά, οπότε η ηλεκτροπαραγωγή τους μπορεί τυπικά να προσαρμοστεί σε κάθε εφαρμογή,από καταναλωτικές χρήσεις χαμηλής ισχύος (ρολόγια, μικρούς υπολογιστές χειρός, και φορτιστές μικρών μπαταριών) μέχρι εφαρμογές μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων, όπως η ηλεκτροπαραγωγή σε κεντρικού σταθμούς των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού [11].

Υπάρχει επίσης ένας μικρός αλλά αυξανόμενος αριθμός κτιρίων (οικιακής, εμπορικής και βιομηχανικής χρήσης) με συστοιχίες Φ/Β, οι οποίες καλύπτουν σημαντικό τμήμα των ενεργειακών τους αναγκών. Η απόδοση του καλύτερου ηλιακού στοιχείου από πυρίτιο είναι της τάξης του 24% σε συνθήκες εργαστηρίου. Οι καλύτερες εμπορικά διαθέσιμες Φ/Β μονάδες έχουν ολική απόδοση της τάξης του 16%.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταική μετατροπής.

1839	Παρατήρηση του φωτοβολταικού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες (Becquerel)
1871	Περιγραφή των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως (Adams και Day).
1883	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από σελήνιο (Charles Edgar Fritts).
1937	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από PbS (Fischer και Godden).
1941	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si (Ohl).
1952	Ανακάλυψη της μεθόδου της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας (Pfann).
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων pn με διάχυση προσμίξεων (Fuller).
1954	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si με σχηματισμό ένωσης pn με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση (D. Chapin , C.Fuller και G. Pearson).
1956	Εμπορική εισαγωγή ηλιακών στοιχειών (Εταιρεία Hoffmann).
1958	Εκτόξευση του αμερικάνικου τεχνητού δορυφόρουVanguard 1, εξοπλισμένου με έξι μικρά στοιχεία Si, ισχύος 5 MW, βοηθητική ενεργειακή πηγή.
1958	Εκτόξευση σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδότηση από ηλιακά στοιχεία.
1959	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Cd S, με απόδοση 5% (Hammond).
1972	Κατασκευή του «ιώδους» ηλιακού στοιχείου Si, με απόδοση 14% (Lindmayer και Allison).
1976	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si, με απόδοση 0,01% (Carlson και Wronski).
1977	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs, μα απόδοση 16% (Kameth).
1981	Πτήση πάνω από τη Μαγχη του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 ηλιακά στοιχεία Si, ισχύς 2,7 KW.
1983	Εναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταικού σταθμού της Βικτροβίλ, ισχύος 1 MW.
1984	Εναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στιχεων στην ιαπωνία από άμορφο πυρίτι με απόδοση 5%.

Σχήμα 3.3: Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη των φωτοβολταϊκών.

3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών κατασκευών (Παθητικά ηλιακά συστήματα) και στην δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της σε άλλης μορφής ενέργεια ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση (Ενεργά ηλιακά συστήματα). Στα ενεργά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκά συστήματα) [71]. Στο παρόν πόνημα θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τα ενεργά ηλιακά συστήματα. Σε αυτό το σημείο κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια σύντομη αναφορά σε κάποιες βασικές έννοιες της ηλιακής ενέργεια που έχουν να κάνουν με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

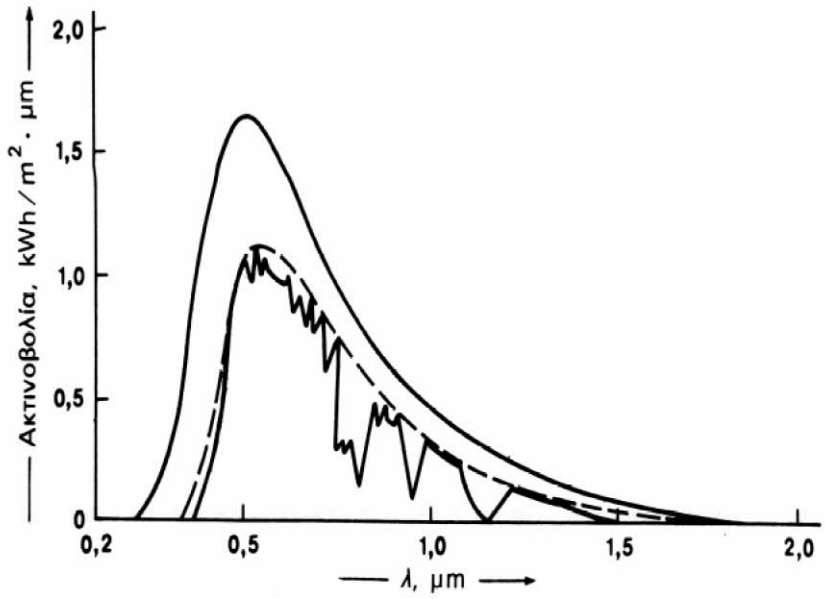
3.2.1Ηλιακό φάσμα

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γη. Το συνολικό ποσό ενεργείας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1.700 KWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Το φως του ήλιου που φθάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται κυρίως από δύο συνιστώσες, πιο συγκεκριμένα το άμεσο φως και το έμμεσο ή διάχυτο φως, το οποίο είναι το φως που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα .

Η διαμόρφωση του ηλιακού φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου 5800 K, όση είναι ,κατά μέσο όρο η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Αυτό προκύπτει βρίσκοντας την ένταση ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ήλιου διαιρώντας την συνολική ισχύ του ήλιου με την σφαιρική επιφάνεια του. Κατόπιν εξισώνοντας την ένταση ακτινοβολίας του ήλιου στην επιφάνεια του με την έκφραση Stefan Boltzman μπορεί να υπολογισθεί η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου με την οποία φαίνεται να ακτινοβολεί ο ήλιος. Έτσι προκύπτει ότι ακτινοβολεί ως μελανά σώμα θερμοκρασίας περίπου 5800K σε μήκος κύματος 0,48 μm. Η προσέγγιση αυτή είναι επαρκής για την μελέτη των θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας όπως π.χ η θέρμανση νερού με τη βοήθεια ηλιακών θερμοσιφώνων. Στις περιπτώσεις αυτές ενδιαφέρει συνήθως η συνολική θερμική ισχύς της ακτινοβολίας και ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας. Δεν είναι το ίδιο όμως και για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας αφού αυτή καθορίζεται από τη λεπτομερειακή φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Από τον ήλιο όμως εκπέμπεται και ηλιακός άνεμος ο οποίος είναι μια ασθενή σωματιδιακή ακτινοβολία, που αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Σε περιπτώσεις ηλιακών εκρήξεων η ένταση του ηλιακού ανέμου αυξάνει σημαντικά. Πάντως, η μορφή αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης [11,71].

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μελανός σώματος θερμοκρασίας 5800K. Η μεγάλη διαφοροποίηση του πραγματικού φάσματος του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης σε σχέση με την

προσέγγιση που αναφέρθηκε παραπάνω καθιστά επιβεβλημένη την ανάγκη εξέτασης της φασματικής σύστασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται από το σχήμα το ηλιακό φως αποκτά τελικά μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 3.4 : Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μελανός σώματος θερμοκρασίας 5800 K (εξωτερική συνεχής γραμμή), το φάσμα της ίδιας πηγής ύστερα από απορροφήσεις από το όζον και από σκεδάσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (ασυνεχής γραμμή), και το πραγματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες μέτριας υγρασίας (εσωτερική συνεχής γραμμή).

Η εξάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το υψόμετρο της γης που δέχεται την ακτινοβολία δείχνει και την επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολίας. Έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας 2 φτάνει μέχρι τα 9001000 W /m , η τιμή της αυξάνεται κατά περίπου 27 W /m για κάθε 100 m ύψους της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται
αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

3.2.2 Χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης.

Πέρα από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο, η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως τη θέση

του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μια κλίμακα μάζας αέρα AM (Air Mass, ονομάζεται επίσης οπτική αέρια μάζα) βαθμονομημένης με την τέμνουσα (το αντίστροφο του συνημίτονου) της ζενιθιακής απόστασης (ζ), δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στη θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο. Δηλαδή η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.

Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως AM1,5 συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45ο από το ζενίθ, ως AM2 με τον ήλιο σε γωνία 60ο κ.λ.π. Το μηδέν της κλίμακα AM0 συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι πυκνότητες της ισχύος και η μέση ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες πρότυπες τιμές της στην κλίμακα αέρα(Air Mass) [11,71].

Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς (W/m^2)	Μέση ενέργεια των φωτονίων (eV)
AM0	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα	1350	1,48
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	1060	1,32
AM2	Απόσταση του ήλιου 60_o από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,38
AM3	Απόσταση του ήλιου $70,5_o$ από το ζενιθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	750	1,21

Πίνακας 3.1 : Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass).

3.2.3 Ακτινοβολία του «ενός ήλιου»

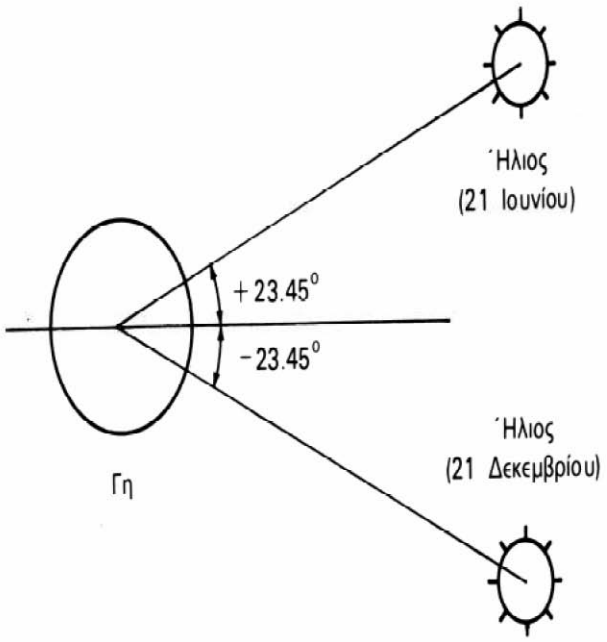
Η ηλιακή ακτινοβολία ΑΜ1,5 έχει πυκνότητα 935 /2 και αποτελεί Wm χονδρικά μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσέγγιση της μέση μέγιστης ισχύος που περίπου δέχεται σε επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία και στις ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες αιχμής (καλοκαίρι, μεσημέρι, καθαρός ουρανός κ.λ.π) ένα μεγάλο μέρος από τις περισσότερες κατοικημένες και ανεπτυγμένες περιοχές της γης. Για απλοποίηση, η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλεύεται στα 1000 Wm 2 , ονομάζεται συμβατικά ακτινοβολία ενός ήλιου ή ενός πλήρους ήλιου και χρησιμοποιείται συχνά σαν βάση σύγκρισης της ακτινοβολίας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την αναφορά της ισχύος αιχμής των φωτοβολταϊκών διατάξεων, καθώς και για την ακτινοβολία στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα. Για αντικειμενικές συγκρίσεις είναι απαραίτητο να γίνεται σαφής αναφορά των συνθηκών (ΑΜ0, ΑΜ1 κ.λ.π) διεξαγωγής των μετρήσεων, διότι οι ιδιότητες των ηλιακών στοιχειών, και γενικότερα η απόδοση τους επηρεάζονται σημαντικά από τη μορφή της ακτινοβολίας που δέχονται.

3.2.4 Ηλιακή γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και άλλα συστατικά. Επίσης, επηρεάζονται αξιόλογα από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση κ.λ.π.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του

ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης, δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόριο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι 23,45+ ο στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και −23,45ο στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).



Σχήμα 3.5 : Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο.

3.3 ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊού φαινόμενου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο(Φ/Β).

Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μία κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα και, θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως, δεν μπορεί να μετατραπεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας κείται στην υπέρυθρη ή θερμή και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικοτήτων μετατροπής [11].

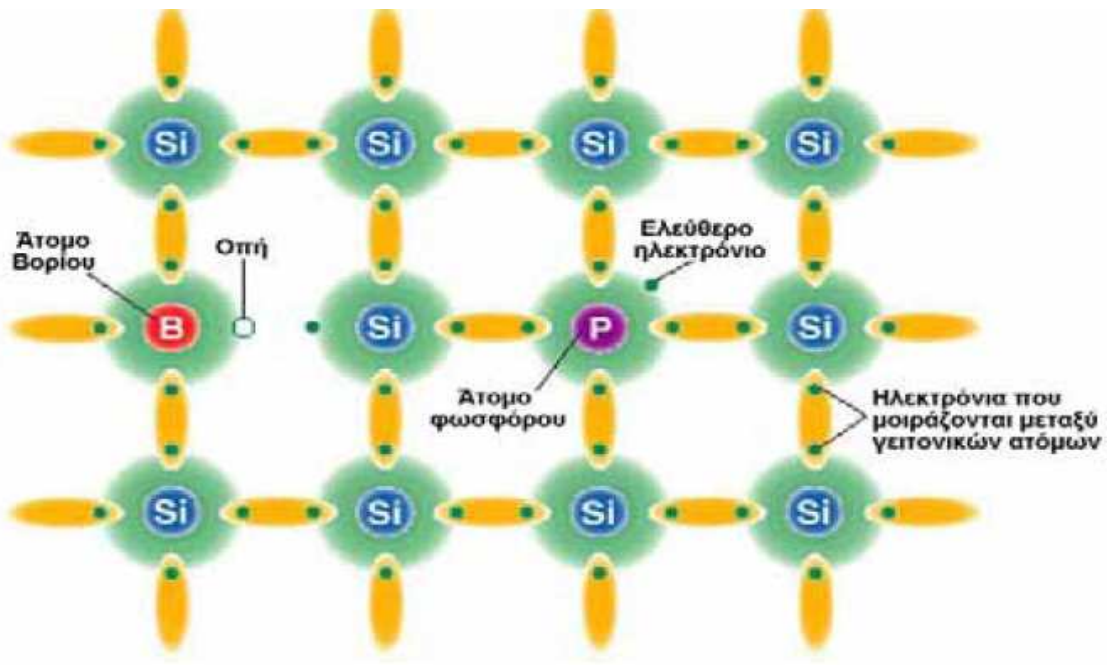
3.3.1 Βασικές αρχές

Μια φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελείται από συνδυασμό δυο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς, γνωστούς ως ptype ημιαγωγός και ntype ημιαγωγός. Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία, όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο ή χημικές ενώσεις όπως το αρσενιούχο γάλλιο και το θειούχο κάδμιο. Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών χρησιμοποιείται το πυρίτιο (αν και είναι δυνατή και η κατασκευή και από άλλα υλικά). Ο κρύσταλλος του πυριτίου έχει κυβική δομή (εδώ για απλοποίηση θα θεωρήσουμε τα άτομα σε ένα επίπεδο). Το πυρίτιο ανήκει στην Ομάδα IV του περιοδικού πίνακα, δηλαδή κάθε άτομο έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε άτομο συγκρατείται στο κρυσταλλικό πλέγμα με αμοιβαία συνεισφορά δύο ηλεκτρονίων και με άλλα τέσσερα άτομα πυριτίου σε ίσες αποστάσεις. Επομένως όλα τα ηλεκτρόνια σθένους είναι απασχολημένα στους

δεσμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και το σώμα να μην διαθέτει ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Γενικά τα ηλεκτρόνια που μπορούν να λάβουν μέρος στο σχηματισμό ενώσεων βρίσκονται στη ζώνη σθένους. Είναι δυνατόν υπό κατάλληλες συνθήκες (με τη δράση κάποιας ενέργειας), κάποια ηλεκτρόνια να αποκτήσουν ικανή ενέργεια για να μεταπηδήσουν στη ζώνη αγωγιμότητας οπότε το υλικό μετατρέπεται σε αγωγό του ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση των ατόμων πυριτίου, που μας ενδιαφέρει, η απαιτούμενη ενέργεια ώστε ένα ηλεκτρόνιο να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας επιτυγχάνεται με τη δράση θερμότητας ή φωτονίων. Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, κινείται ελευθέρα άγοντας το ηλεκτρικό του φορτίο έχοντας όμως αφήσει πίσω του μια οπή, δηλαδή μια περιοχή όπου υπάρχει θετικό φορτίο. Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί τύπου ntype και ptype.

Οι ntype ημιαγωγοί έχουν αρνητικό φορτίο και για αυτό οι ημιαγωγοί αυτοί ονομάζονται n(negative)type. Ενώ κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου) έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων. Οι ptype ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο) οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμμα ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που "λείπουν" ονομάζονται οπές. Η έλλειψη των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την ύπαρξη θετικού φορτίου και για αυτό οι ημιαγωγοί του τύπου αυτού ονομάζονται p(positive)type [11,71,70]. Στο παρακάτω εικόνα φαίνεται το κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα προσμίξεων (άτομα βόριο και φωσφόρου).



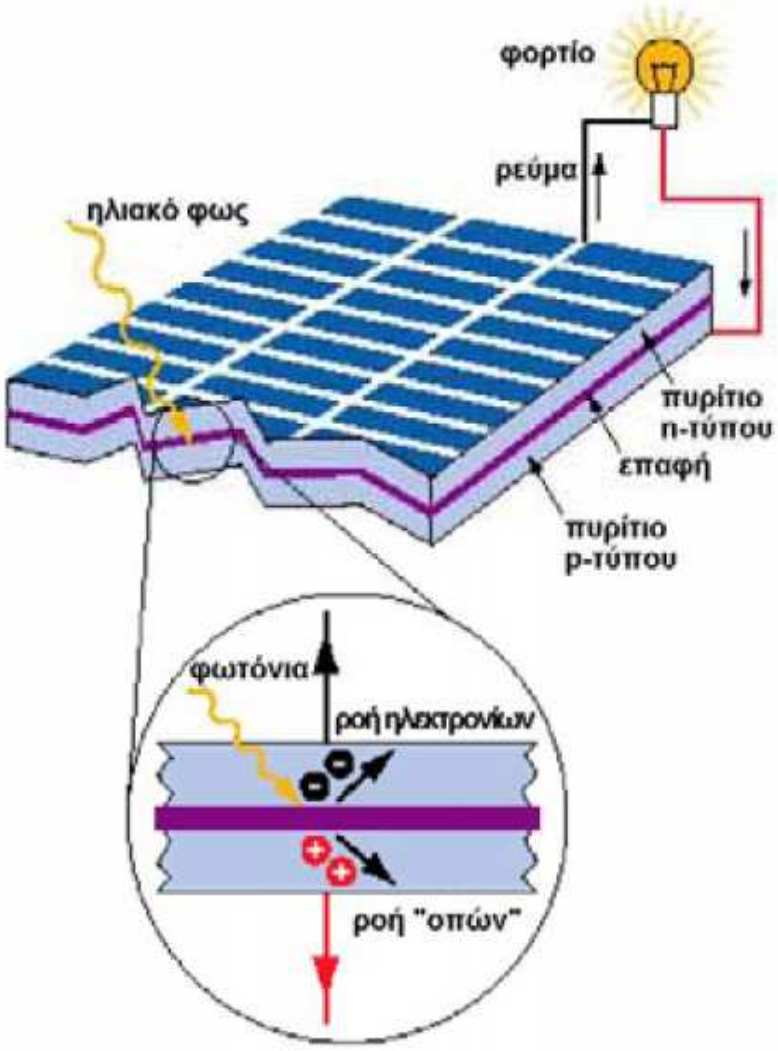
Σχήμα 3.7 : Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη.

3.3.2 Λειτουργία των ηλιακών κυψελών

Όπως αναφέρθηκε τα ηλιακά στοιχειά είναι δίοδοι με τη μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση pn εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενεργεία ίση ή μεγαλύτερη

από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι, δημιουργείται όσο διαρκεί η ακτινοβόληση μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωση pn οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου [71].

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Συνεπώς, αν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα όπως αυτό του σχήματος είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



Σχήμα 3.7 : Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινόμενου.
Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού.

Την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία)

- Και το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός Ο λόγος της ηλεκτρικής ενεργείας που παράγεται από μία ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης [3].

3.3.3 Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στις ηλιακές κυψέλες

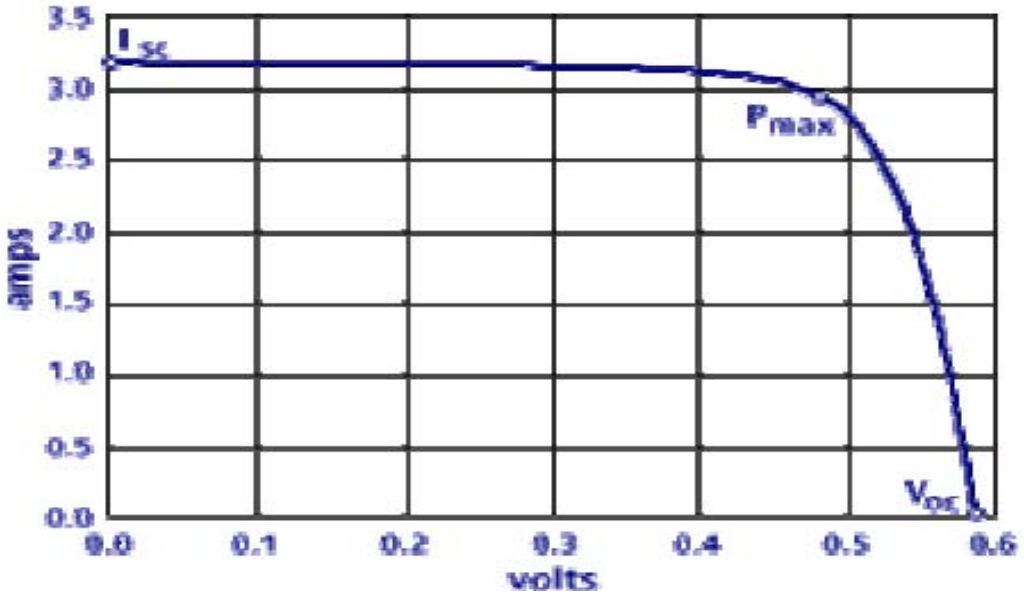
Στις ηλιακές κυψέλες δεν είναι δυνατή η μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι στο περιβάλλον. Στη συνέχεια από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγώγιμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινόμενου [11,71]. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικάμετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ανεπιθύμητη καθώς επιδρά αρνητικά στην απόδοση τους [12,13].

3.3.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών κυψελών

Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για δοκιμές. Αυτές είναι οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ) που είναι οι ακόλουθες:

- Θερμοκρασία = 25^{o}C
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000 W/m^{2}
- Αέρια μάζα = ΑΜ 1,5

Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τάση, και η σχέση αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη IV της κυψέλης. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση της κυψέλης και για την σύγκριση μεταξύ των κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η καμπύλη IV μιας κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής.

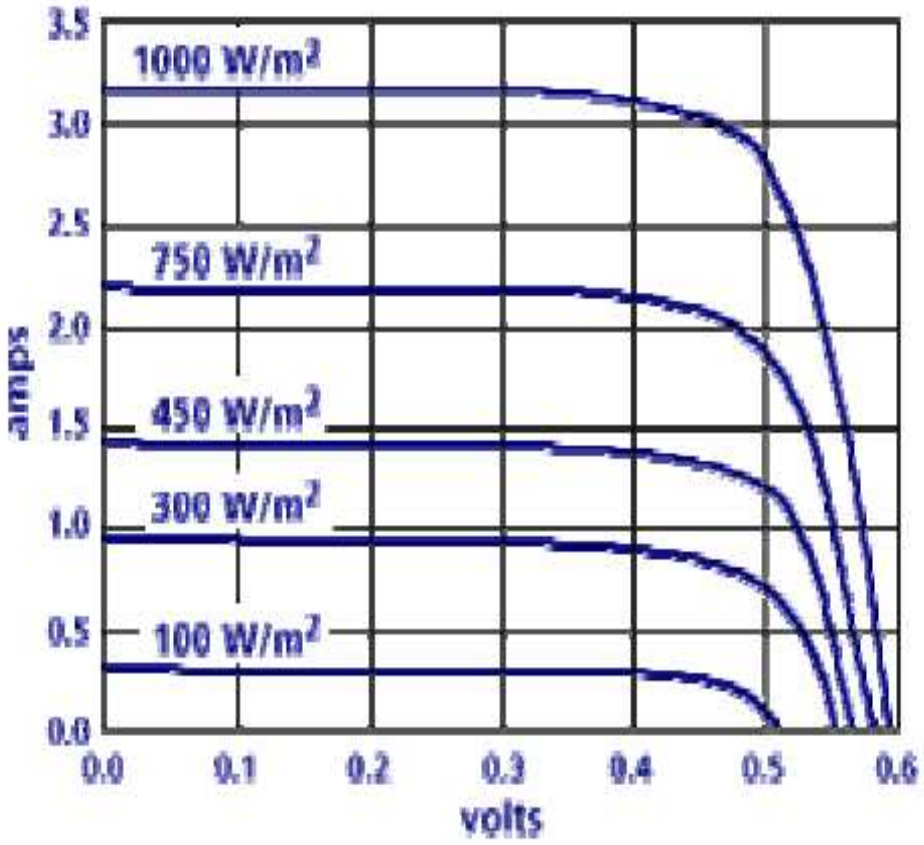


Σχήμα 3.8 : Καμπύλη IV μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε πρότυπες συνθήκες δοκιμών (ΠΣΔ).

Όπου :

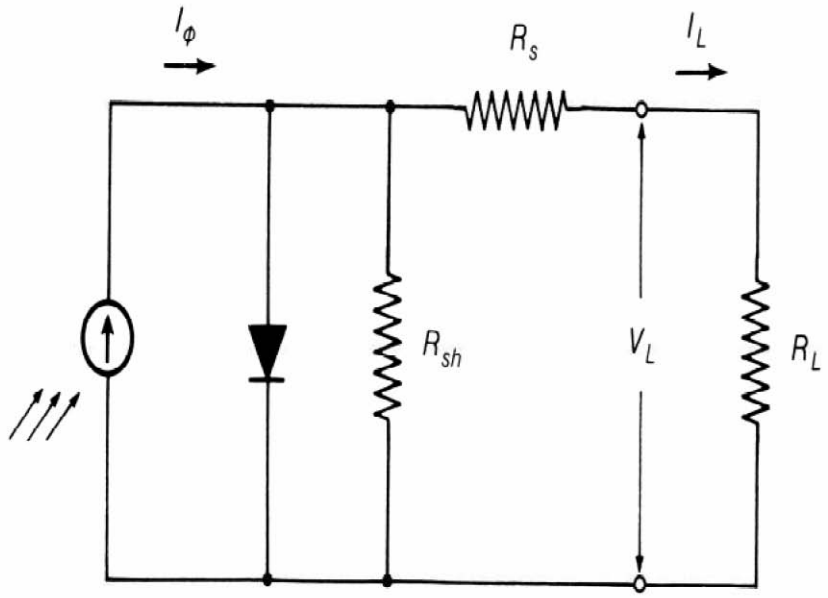
- Isc → ρεύμα βραχυκυκλώματος
- Voc→ τάση ανοιχτού κυκλώματος
- Pmax→μέγιστη ισχύς
- I max → ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύς
- Vmax→ τάση στο σημείο μέγιστης ισχύς

Η παραγόμενη ισχύς από την κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός (για παράδειγμα, εάν υποδιπλασιαστεί η ένταση του ηλιακού φωτός θα υποδιπλασιαστεί και η παραγόμενη ισχύς). Ένα σημαντικό γνώρισμα των Φ/Β κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης δεν εξαρτάται από το μέγεθος της, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του φωτός και το μέγεθός της. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της παραγωγής ρεύματος και τάση υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός. Η εξάρτηση της ένταση του φωτός στην παραγωγή ρεύματος είναι εμφανής



Σχήμα 3.9 : Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.

Ένας άλλο παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η αντίσταση του κυκλώματος. Δηλαδή τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R (από την αγγλική λέξη seriess resistance)που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Ακόμα, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού λόγω των αναπόφευκτων κατασκευαστικών ελαττωμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το οποίο ισοδυναμεί κύκλωμα, όπως αυτό που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα,και περιέχει και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} (από την αγγλική λέξη shunt resistance). Ενώ η R_L
είναι η εξωτερική αντίσταση (από την αγγλική λέξη load resistance) και I_Φ είναι το φωτόρευμα, δηλαδή το ρεύμα που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο διεγειρόμενο από μια ακτινοβολία.



Σχήμα 3.10 : Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς R_s, καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις R_{sh}.

Συνήθως στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου η R_s είναι μικρότερη από 5 Ω και η R_{sh} είναι μεγαλύτερη από 500 Ω. Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάση V_L και του ρεύματος I_L που διαρρέει το φορτίου του κυκλώματος R , με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου [11].

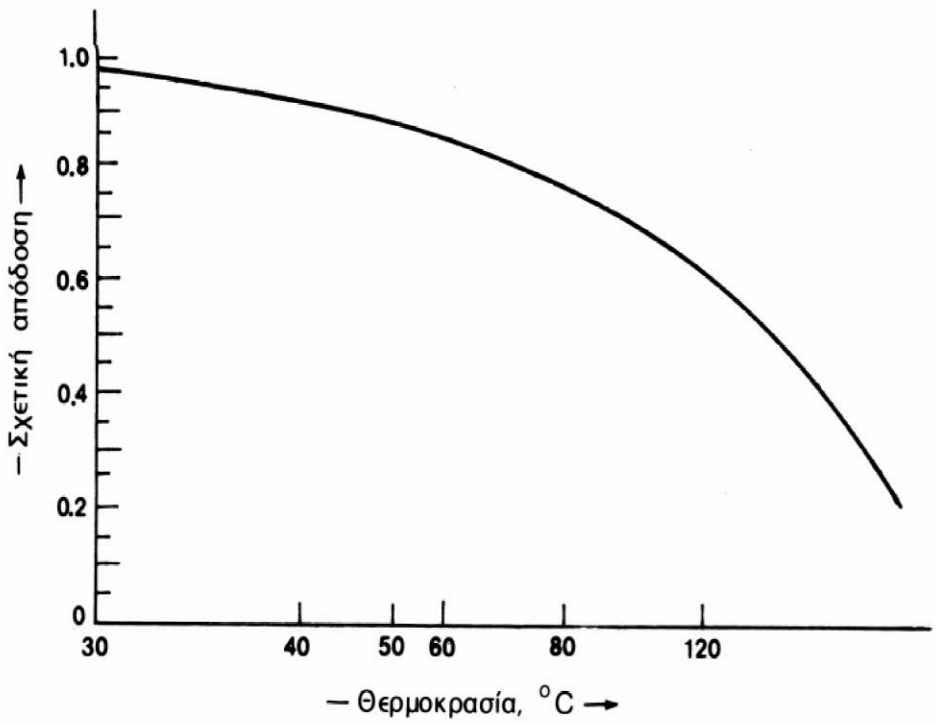
Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει ιδιαίτερη μνεία σε ένα άλλο παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση και δεν είναι άλλος από την θερμοκρασία. Ουσιαστικά είναι και ο λόγος που προκάλεσε το ενδιαφέρον για την έρευνα πάνω στα υβριδικά (φωτοβολταϊκάθερμικά) συστήματα συλλεκτών για θέρμανση νερού χρήσης που πραγματεύεται το παρόν πόνημα.

Ενώ η παραγόμενη ισχύς από μια κυψέλη μπορεί να αυξηθεί αρκετά με την χρήση ενός μηχανισμού παρακολούθησης της τροχιάς που να διατηρεί τη Φ/Β διάταξη απευθείας κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου, ή συγκεντρώνοντας το φως του ήλιου με τη βοήθεια φακών ή κατόπτρων. Εντούτοις υπάρχουν όρια στη διαδικασία αυτή, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αναγκαίας ψύξης των κυψελών. Συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας στις κυψέλες προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF (συντελεστής πλήρωσης) μειώνοντας τον βαθμό του φωτοβολταϊκού στοιχειού καθώς αυτός δίνεται από την ακόλουθη σχέση [11,71].

$$n = \frac{P_m}{H*A} = \frac{I_m * V_m}{H*A} = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{H*A}$$

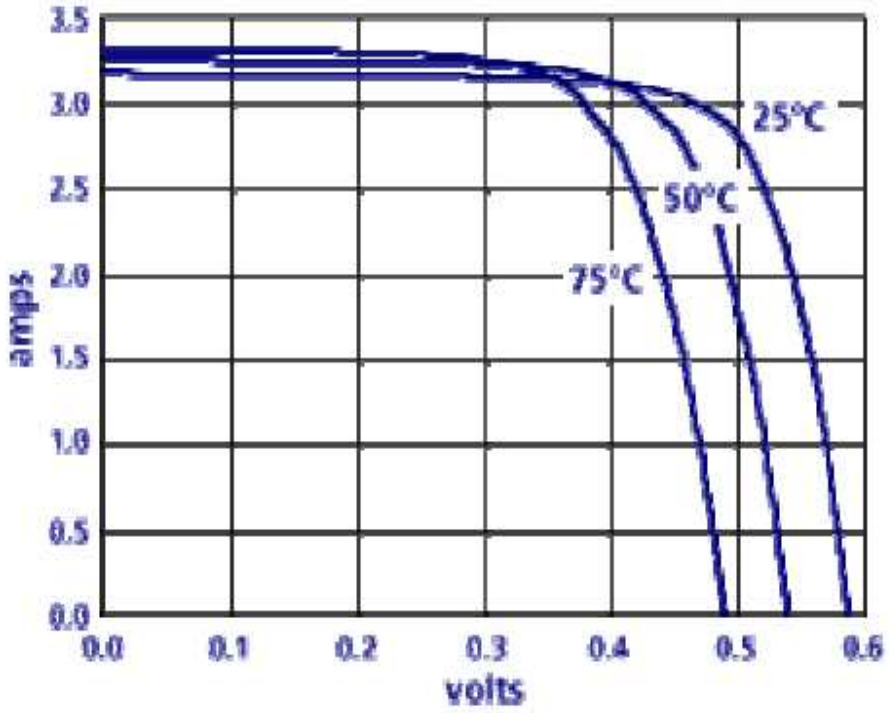
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Η κλίμακα του

άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20°C. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τετμημένων είναι λογαριθμική.



Σχήμα 3.11 : Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20 oC . Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τετμημένων είναι λογαριθμική.

Ενώ στο επόμενο σχήμα φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες IV μιας τυπικής κυψέλης πυριτίου. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (μείωση κατά 0,0023 Volts περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου).



Σχήμα 3.12 : Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες IV μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργεια εξαρτώνται από τρεις μεταβλητούς παράγοντες όπως αναλύθηκε πιο πάνω: την ένταση της ακτινοβολίας, την αντίσταση του κυκλώματος και τη θερμοκρασία του στοιχείου. Προφανώς, στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδιώκεται οι παράγοντες αυτοί να παίρνουν ευνοϊκές τιμές, ώστε να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς, όσο επιτρέπει ο συντελεστής απόδοσης των στοιχείων. Ενώ για τον κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες, εδώ και χρόνια γίνονται σημαντικές έρευνες για τον προσδιορισμό των ευνοϊκών τιμών. Σε επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιασθούν όλες οι έρευνες που έχουν να κάνουν με την μείωση της θερμοκρασία του στοιχείου καθώς αυτό είναι μέρος της παρούσας έρευνας.

3.4 ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η βασική δομική μονάδα κάθε Φ/Β συστήματος. Ομάδες στοιχείων, συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ώστε να δίνουν την επιθυμητή τάση εξόδου, διαμορφώνουν Φ/Β πλαίσια που επίσης μπορούν να συνδεθούν για να αποτελέσουν μία Φ/Β συστοιχία.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από ημιαγώγιμα υλικά, σε τέτοια διάταξη ώστε τα ζεύγη ηλεκτρονίων και οπών, δηλ. αρνητικών και θετικών φορτίων, που δημιουργούνται από την προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία, να κινούνται υπό την επήρεια ενός εγγενούς ηλεκτρικού πεδίου προς αντίθετες κατευθύνσεις δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια συλλέγετε σε ηλεκτρικές επαφές στις πάνω και κάτω επιφάνειες των στοιχείων, είτε για να οδηγηθεί σε κάποιο εξωτερικό κύκλωμα, τροφοδοτώντας φορτία, είτε για αποθήκευση σε συσσωρευτές όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7. Η καταλληλότητα ενός ημιαγωγού για χρήση σε φωτοβολταϊκά στοιχεία εξαρτάται από το ενεργειακό κενό μεταξύ των

περιοχών σθένους και αγωγιμότητας. Το εύρος του ενεργειακού κενού καθορίζει τη διαφορά δυναμικού (τάση) που θα δημιουργηθεί, ενώ όσο μικρότερο είναι το κενό τόσο περισσότερα είναι τα ζεύγη φορτίων που μπορούν να δημιουργηθούν και άρα η ένταση του παραγομένου ρεύματος. Το ζητούμενο είναι το γινόμενο αυτών των δύο μεγεθών (τάση και ρεύμα), δηλαδή η ισχύς, να είναι το μέγιστο δυνατό. Σε συνδυασμό με το ενεργειακό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ο πιο κατάλληλος ημιαγωγός για παραγωγή ρεύματος από τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας είναι το γάλλιο-αρσενικό με θεωρητική δυνατότητα απόδοσης μέχρι 31% περίπου [1]. Εντούτοις, το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται είναι το πυρίτιο, λόγω του χαμηλού του κόστους και της προχωρημένης τεχνολογίας που το συνοδεύει, η οποία οφείλεται στην ευρεία χρήση του στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών. Η απόδοσή του μπορεί θεωρητικά να φτάσει κοντά στο 28% αλλά αυτή τη στιγμή δεν έχει ξεπεραστεί το 25% σε εργαστηριακό επίπεδο [2], [3]. Η αδυναμία επίτευξης υψηλότερης απόδοσης οφείλεται σε απώλειες λόγω αντανάκλασης, σκίασης από τις ηλεκτρικές επαφές, ελλιπούς απορρόφησης της ακτινοβολίας από τον ημιαγωγό, απώλεια φορτίων πριν τη συλλογή τους και το θεμελειώδες θερμοδυναμικό όριο μετατροπής ενέργειας. Σε ερευνητικό επίπεδο γίνεται μία προσπάθεια μείωσης των απωλειών με διάφορες τεχνικές [3] ενώ εξετάζονται και συνδυασμοί υλικών που έχουν θεωρητικά δυνατότητα απόδοσης πάνω από 50% [1], [4], [5].

3.4.1 Ηλιακά στοιχεία πυριτίου

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των Φ/Β κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη πλούσιο παρελθόν 34 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με τη χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία.

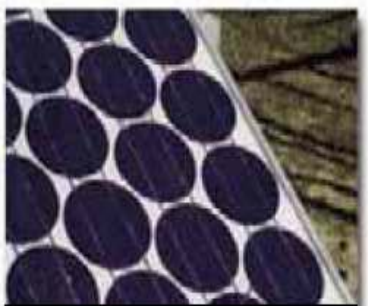
Για να έχει το πυρίτιο, αλλά και κάθε άλλος κρυσταλλικός ημιαγωγός, ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα ηλεκτρονικές εφαρμογές (μεγάλη κινητικότητα, μεγάλο μήκος διάχυσης και μεγάλο χρόνο ζωής των φορέων-κυρίως των φορέων μειονότηταςπριν την επανασύνδεση τους) πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Η πρώτη φάση του καθαρισμού του πυριτίου γίνεται με την ανάτήξη και στη συνέχεια τη μετατροπή του «μεταλλουργικού» πυριτίου σε αέριο τριχλωροσιλάνιο ($SiHCl_3$) που αποχωρίζεται από τις 3 διάφορες προσμίξεις με κλασματική απόσταξη. Το «μεταλλουργικό» πυρίτιο έχει καθαρότητα περίπου 99,6% που είναι πολύ καλή για τις συνηθισμένες τεχνικές χρήσεις, αλλά εντελώς ανεπαρκής για ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Στη συνέχεια, το τριχλωροσιλάνιο ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται πυρίτιο ποιότητας «ημιαγωγού» ή «ηλεκτρονικής», που τήκεται και να κρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα (της τάξης του 99,99999%), σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή, διαμέτρου περίπου 10 cm. Από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι, πάχους περίπου 0,5 mm, οι οποίοι λειαίνονται με επιμέλεια για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και στη συνέχεια διαμορφώνονται σε διόδου pn με διάχυση προσμίξεων. Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των

ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δισκίου , η αλληλοσύνδεση των ετοίμων στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειας τους με ένα αντιανακλαστικό επίστρωμα για τη μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια[11,70,71].

Τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου διακρίνονται ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

- **(Singlecrystal Silicon ή cSi).** Το βασικό υλικό είναι μονοκρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (300μm). Η απόδοση τους, με τη μορφή της κυψελίδας, κυμαίνεται από 21% έως 24%, ενώ με τη μορφή των Φ/Β πλαισίων, κυμαίνεται μεταξύ 13%έως 16%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής.



Σχήμα 3.13 : Κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- **Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (Mylticrystaline Silicon ή mcSi).**

Σχήμα 3.14 : Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά στρώματα, πάχους 10 έως 50 μm. Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όρια τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα, όσο μικρότερο το

συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχειό, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φ/Β στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοση τους, η οποία κυμαίνεται από 17% έως 20 %, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως 14% σε βιομηχανική μορφή Φ/Β πλαισίου. Το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με τη δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό κατασκευάζεται και ένας άλλος τύπος Φ/Β στοιχείων ; τα Φ/Β στοιχεία ταινία (Ribbon Silicon) που έχουν απόδοση περί το 13%. Η μέθοδος αυτή είναι υψηλού κόστους, και προς το παρόν, έχει περιορισμένη βιομηχανική παραγωγή.

- **Φ/Β στοιχεία άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon ή a-Si).**

Τεχνολογία λεπτώνεπιστρώσεων ή υμενίων(films), θεωρητικά πολύχαμηλού κόστουςπαραγωγής, εξαιτίας τηςμικρής χρησιμοποιούμενηςμάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεταιπάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοσητων Φ/Β στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδιαφωτισμού τους, στα επίπεδα 6 έως 8 %. Σήμερα η τεχνολογίααυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευήσύνθετων Φ/Βστοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύοήτριών στρωμάτων μεδιαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση τουαξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Έτσι, είναιδυνατή η κατασκευή ποικίλων σχημάτων εφαρμογών από πολύ

Σχήμα 3.15 : Κυψέλη άμορφου πυριτίου.

μικρό μέγεθος (υπολογιστές αριθμητικών πράξεων) μέχρι μεγάλων διαστάσεων (πλαίσια σταθερού ή ευκάμπτου σχήματος).

- **Φ/Β στοιχεία υβριδικά.** Τα λεγόμενα υβριδικά συνδυάζουν τις τεχνολογίες των άμορφων και των μονοκρυσταλλικών, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Εφόσον συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα και των δυο παρατηρούμε μεγαλύτερους βαθμούς απόδοση ανά απαιτούμενη επιφάνεια. Στον αντίποδα όμως το κόστος κατασκευής τους είναι αρκετά ακριβότερο και από τα Φ/Β στοιχεία άμορφου Πυριτίου αλλά και φυσικά από τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου.

Τέλος στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται πινακοποιημένα τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων Φ/Β στοιχεία πυριτίου για την ευκολότερη σύγκριση τους.

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών				
ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	'Υβριδικά'
Εμφάνιση				
Απόδοση	Άμορφα: 5-7% CIS: 7-10% CdTe: 8-9%	11-14%	13-16%	16-17%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10-20 m^2	8-10 m^2	7-8 m^2	6-7 m^2
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1.300-1.400	1.300	1.300	1.350
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m^2) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	65-140	130-160	160-185	190-225
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO_2 ανά kWp)	1.380-1.485	1.380	1.380	1.435

Πίνακας 3.2 : Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών.

3.4.2 Ηλιακά στοιχεία θειούχου καδμίου (CdS)

Το θειούχο κάδμιο (CdS) είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο και σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο (E_g = 2,45 eV), που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρολογικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή φωτοκυττάρων, ενισχυτών φωτός, φωσφοριστών, ανιχνευτών ακτινοβολίας κ.λ.π. Τα θειούχο κάδμιο συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι τα ελευθέρα ηλεκτρόνια, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη ξένων ατόμων -δοτών. Παλαιότερα είχε θεωρηθεί ότι η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων από θειούχο κάδμιο, με εμπρός ηλεκτρόδιο από χαλκό, οφείλονταν αποκλειστικά στο θειούχο κάδμιο, για αυτό επικράτησε η ονομασία του ως στοιχεία θειούχου καδμίου. Σήμερα, είναι γνωστό ότι οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος του θειούχου καδμίου και ενός λεπτού στρώματος θειούχου χαλκού, που σχηματίζεται με την επίδραση του θειούχου καδμίου στον χαλκό, από τον οποίο όπως είπαμε είναι κατασκευασμένο το εμπρός ηλεκτρόδιο. Η σύσταση του στρώματος αυτού αποδίδεται συνήθως με τον χημικό τύπο Cu_2S , Cu_XS ,2αλλά σωστότερο είναι να γράφεται χόπου το χκυμαίνεται από 1,96 μέχρι 1,99. Το Cu_xS είναι επίσης ημιαγωγός, με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,2eV, και έχει χαρακτήρα τύπου p. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές, χωρίς την προσθήκη προσμίξεων.Το ενεργειακό διάκενο του Cu_XS είναι αρκετά ευνοϊκό για την x απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει όμως πολύ μικρό μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας, περίπου 50 nm, και επομένως το πάχος του στρώματος του πρέπει να είναι αντίστοιχα μικρό π.χ να μην ξεπερνά τα 150 nm (δηλαδή 0,15 μm). Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε το ενεργειακό διάκενο του θειούχου καδμίου είναι σχετικά μεγάλο, και έτσι στο στρώμα του η απορρόφηση φωτονίων είναι μικρή. Το αποτέλεσμα είναι ότι η πυκνότητα παραγόμενου φωτορεύματος στα Cu_XS/CdS ηλιακά στοιχεία δηλαδή τα Amperes του ρεύματος ανά μονάδα επιφανείας του στοιχείου, είναι μικρή, η μισή περίπου σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

Οι παραγόμενες ποσότητες ηλιακών στοιχείων Cu_XS/CdS είναι ακόμα μικρές, αλλά πιστεύεται ότι υπάρχουν σημαντικές μελλοντικές προοπτικές διότι μπορούν να κατασκευασθούν από σχετικά φτηνά υλικά και απλές μεθόδους .

Τα ηλιακά στοιχεία Cu_XS/CdS έχουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση,περίπου 10%, αλλά υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις για τη σταθερότητα τους, ιδίως στην επίδραση της εργασίας [11,71].

3.4.3 Ηλιακά στοιχεία αρσενιούχου γαλλίου (GaAs)

Το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs) είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV. Η τιμή αυτή είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, με θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Επιπλέον, το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs) συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ερευνητική προσπάθεια που έχει αναπτυχθεί τελευταία είναι έντονη και πιστεύεται ότι σύντομα το αρσενικούχο γάλλιο θα βρει σημαντικές εφαρμογές, κυρίως στα ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, αν και το κόστος του είναι μεγαλύτερο από το πυρίτιο, περίπου πενταπλάσιο. Στα συγκεντρωτικά όμως φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανά

μονάδα επιφανείας ηλιακού στοιχείου είναι αρκετά μεγάλη, αφού δέχονται αυξημένη πυκνότητα ακτινοβολίας, και επομένως δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία το κόστος του ηλιακού στοιχείου. Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο του αρσενικούχου γαλλίου έχει σαν αποτέλεσμα την καλή του συμπεριφορά στις κάπως υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι μια ιδιότητα με ιδιαίτερη επίσης σπουδαιότητα γαλλίου πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοση τους στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 C^o. Η αντίστοιχη μείωση στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου (Si) Co παρατηρείται ήδη στους 120 C^o, ενώ για τα περισσότερο ευαίσθητα Co στοιχεία του θειούχου καδμίου (CdS) στους 80 C^o.

Τις μεγαλύτερες αποδόσεις από τα ηλιακά στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου, έχουν δώσει τα στοιχεία ετεροενώσεων με ημιαγώγιμα κράματα του συστήματος $Ga_{1-x}Al_xAs$, όπου το x παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1. Σε πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία της μορφής αυτής μετρήθηκαν αποδόσεις περίπου 24% που είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό του μέγιστο (31%) [1] .

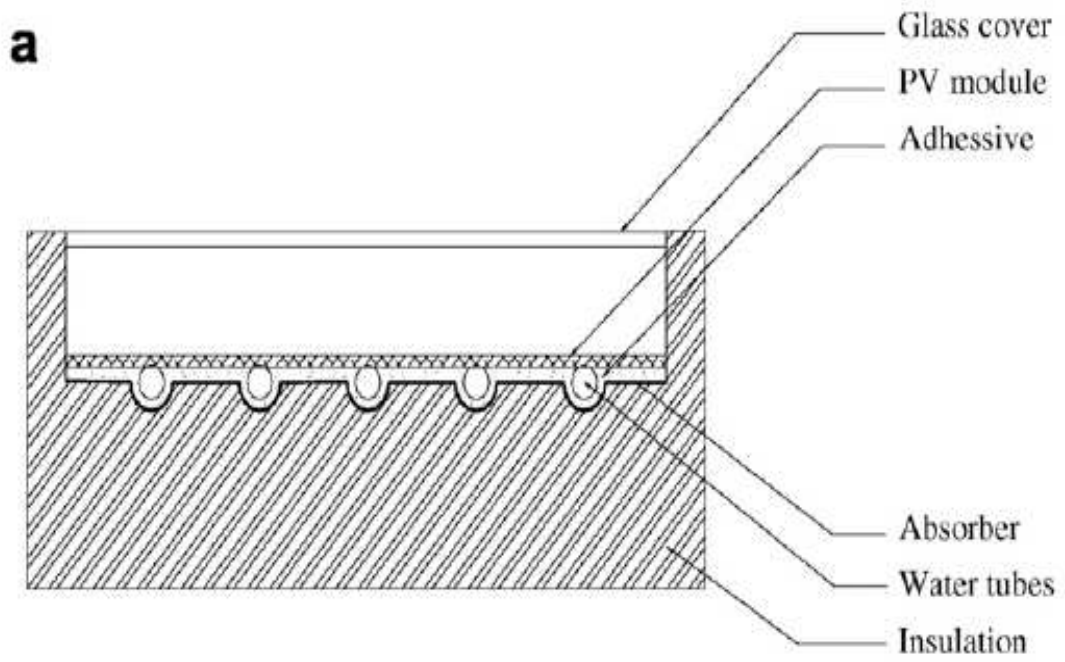
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο "ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΦΒ/Θ)"

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

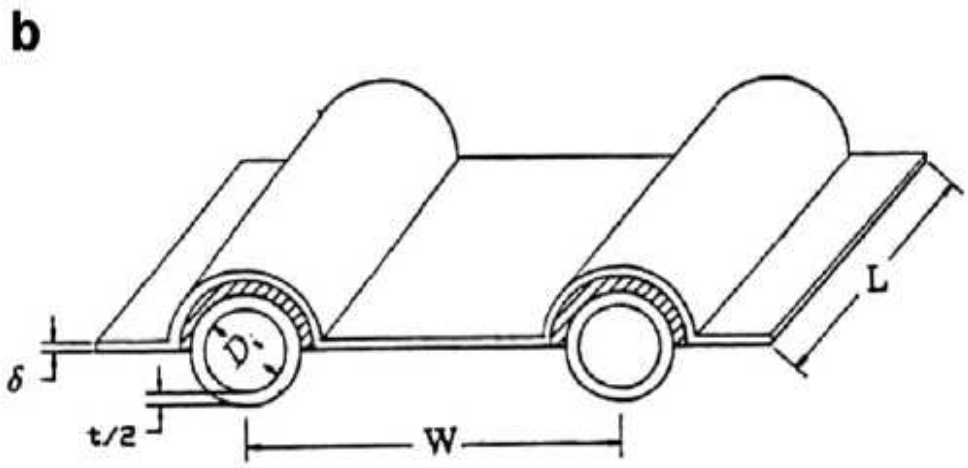
Το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) κύτταρα δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό αλλά σε θερμότητα, η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους με συνέπεια την μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Η φυσική ψύξη των ΦΒ συστημάτων με συναγωγή και τον αέρα δεν επαρκεί για την μείωση της θερμοκρασίας σε ικανοποιητικό βαθμό [12]
.

Η απαγωγή της θερμότητας από τα (ΦΒ) πλαίσια βοηθά όχι μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους αλλά μπορεί και να αξιοποιηθεί αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή τους απόδοση. Τα ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά (ΦΒ/Θ ή PV/T) συστήματα, τα οποία αναπτύσσονται τελευταία και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε επιδεικτικές εφαρμογές.

Τα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα συνίστανται από ΦΒ πλαίσια με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας του ΦΒ, όπου ένα κυκλοφορούν ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας αυτής του ΦΒ θερμαίνεται ψύχοντας το [13]. Όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



Σχήμα 4.1 : Θερμική μονάδα απολαβής θερμότητας ενσωματωμένη σε φωτοβολταϊκό σύστημα.

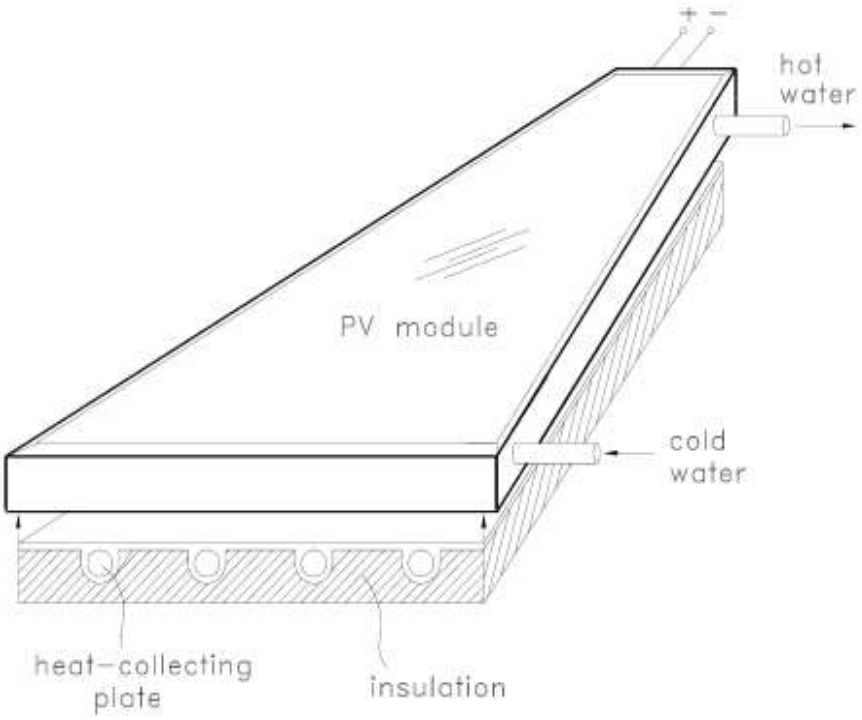


Σχήμα 4.2 : Οι κυριότερες διαστάσεις της θερμικής μονάδας.

Το ρευστό απολαβής της θερμότητας δεν χρησιμοποιείται μονό για την ψύξη του ΦΒ αλλά και για άλλες πρακτικές εφαρμογές. Στις υβριδικές συσκευές (ΦΒ/Θ) τα ΦΒ πλαίσια και οι θερμικές μονάδες αποτελούν ενιαίες συσκευές και μπορούν να μετατρέπουν την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία ταυτόχρονα σε ηλεκτρισμό και θερμότητα [17]. Οι υβριδικές συσκευές (ΦΒ/Θ) παρέχουν ποσότητα θερμότητας επιπλέον της ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια έχουν μεγαλύτερη ολική αποδιδόμενη ενέργεια σε σχέση με τα απλά ΦΒ πλαίσια [16] .

Με την σημερινή τεχνολογία των (ΦΒ/Θ) συσκευών η συνολική απόδοση είναι μικρότερη από αυτή δύο ξεχωριστών συσκευών (ΦΒ και θερμική) για την περίπτωση ανύψωσης του νερού στο επίπεδο οοπρακτικής χρήσης (50 C^o – 60 C^o). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμική απόδοση μιας μονάδας απαγωγής θερμότητας ενσωματωμένη σε ένα ΦΒ/Θ σύστημα είναι αρκετά μειωμένη από την αντίστοιχη τιμή μιας συμβατικής μονάδας μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα [18,65].

Όμως με κριτήριο την παραγωγή ηλεκτρισμού η παραγωγή ενέργειας που αποδίδεται ανά μονάδα επιφανείας είναι πολύ μεγαλύτερή στην περίπτωση της ΦΒ/Θ συσκευής από ότι στην περίπτωση των δύο ξεχωριστών συσκευών [17]. Επίσης υπερτερεί σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών (π.χ θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, προθέρμανση νερού, κ.λ.π) αλλά και από πλευράς χρησιμοποιούμενων υλικών και αισθητικής όπου οι δύο ξεχωριστές συσκευές διαφορετικής όψης έχουν αντικατασταθεί από μία συσκευή ενιαίας όψης [10]. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ένα ΦΒ/Θ σύστημα.



Σχήμα 4.3 : Τυπικό φωτοβολταϊκό θερμικό (ΦΒ/Θ) σύστημα.

Τέλος όπως έχει αναφερθεί από διάφορους μελετητές η χρησιμοποίηση των συστημάτων ΦΒ/Θ δεν γίνεται μόνο για να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης αλλά και λόγω αντοχής υλικών. Έχει παρατηρηθεί ότι η παρατεταμένη έκθεση των φωτοβολταϊκών κελιών σε υψηλές θερμοκρασίες επιδρά αρνητικά στην διάρκεια ζωής και την αντοχή του συστήματος [11] [14].

4.2 ΑΝΑΓΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΦΒ/Θ

Η ανάπτυξης των ΦΒ/θ συστημάτων δεν έγινε μόνο για τεχνικούς λόγους αλλά και για οικονομικούς. Είναι αυτονόητο ότι μειώνοντας την θερμοκρασία λειτουργίας των κελιών αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης και άρα το εκτόπισμα του την αγορά δηλαδή η εμπορική του ικανότητα. Η ανάπτυξη των διαφόρων τεχνολογιών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομική τους δυναμική.

Συμφωνά με μελέτες που έγιναν από το EPFL (Ecole Polytechnique de Lausanne) στην Ελβετία έδειξαν ότι είναι απαραίτητη η σκέψη για τις θερμικές εφαρμογές. Η προοπτική εφαρμογής υβριδικών ΦΒ/Θ συσκευών θα έχει θετική συμβολή στην ευρύτερη αγορά των ΦΒ συστημάτων και είναι πιθανόν ένας άλλος τρόπος για τη διεύρυνση της αξιοποίησης των ΦΒ, τα οποία θα έχουν την ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν μέσω των υβριδικών ΦΒ/Θ συσκευών χωρίς την ανάγκη μεγάλης επιδότησης [15] .

Συμφωνά με μελέτες που έχουν γίνει φαίνεται ότι η ενσωμάτωση των μονάδων απαγωγής θερμότητας στα ΦΒ μειώνουν σημαντικά τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης. Χαρακτηρίστηκα αναφέρεται από τους Τρυπαναγνωστόπουλο,

Τσελέπη, Σουλιώτη και Τούνι ,σύμφωνα με ερευνά που κάνανε, ότι η ενσωμάτωση μιας μονάδας απαγωγής θερμότητας μπορεί να μειώσει τον χρόνο απόσβεσης έως και 2,5 φορές εάν αυτή ενσωματωθεί σε φωτοβολταϊκό σύστημα πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pcSi) και έως 4,5 στην περίπτωση που αυτή ενσωματωθεί σε φωτοβολταϊκό σύστημα άμορφου πυριτίου (aSi). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pcSi) έχουν σχεδόν το διπλάσιο κόστος ανά επιφάνεια ανοίγματος σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα άμορφου πυριτίου (aSi) [13,65] . Ένα εύρημα από την ίδια μελέτη που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι ενώ η χρήση του διάχυτου ανακλαστήρα αυξάνει την ηλεκτρική και θερμική απόδοση επιδρά ελάχιστα στο χρόνο απόσβεσης της επένδυσης.

Επιπλέον όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία με την χρήση υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος (ΦΒ/Θ) η απόδοση του συστήματος αυξάνει σημαντικά ενώ το κόστος της συνολικά παραγόμενης ενέργειας αναμένεται να είναι χαμηλότερο ατά αντιστοιχία με το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ενός απλού ΦΒ [14] .

Συνεπώς τα πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων (ΦΒ/Θ) είναι τα ακόλοθα:

- Μείωση κόστους: Το κόστος ενός (ΦΒ/Θ) συστήματος είναι σχεδόν 25% λιγότερο από τα ξεχωριστά συστήματα ΦΒ και θερμικού συστήματος. Ενώ η ενσωμάτωση του συστήματος στο κτήριο επιτρέπει την μείωση του κόστους (κατασκευής του κτηρίου) αντικαταστώντας στοιχεία της κατασκευής με τα ΦΒ.
- Η παραγωγή ενέργεια αυξάνεται ανά μονάδα επιφανείας.
- Αισθητική[20] [21] .

4.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν μεγάλη ιστορία και είναι εκμεταλλεύσιμοι εμπορικά από 19 αιώνα, ενώ η εμπορική εκμετάλλευση και παραγωγή των ΦΒ κελιών χρονολογείται από το 1950. Κατά την διάρκεια του 1960 τα ηλιακά κελιά ήταν πολύ ακριβά και η ανάπτυξη τους ήταν κυρίως επικεντρωμένη σε διαστημικές εφαρμογές [11]. Όμως μετά το πετρελαϊκό εμπάργκο του OPEC το 1973/1974, που είχε σαν αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της τιμής του πετρελαίου , οι ανανεώσιμες πηγές ενέργεια μπήκαν δυνατά στο παιχνίδι της ενέργειας. Κατά συνέπεια εφαρμογές και τεχνικές που προηγουμένως θεωρούνταν πολύ ακριβές και ασύμφορες εξετάστηκαν εκ νέου. Ανάμεσα σε αυτές ήταν και οι εφαρμογές ηλιακών κελιών και μαζί με αυτές προωθήθηκαν και τα πρώτα προγράμματα ΦΒ/Θ συστημάτων.

Τις τελευταίες δεκαετίες πολλές θεωρητικές και πειραματικές μελέτες έχουν δημοσιευτεί στον επιστημονικό τύπο. Τα ΦΒ/Θ συστήματα διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο ψύξη, δηλαδή ανάλογα με το ρευστό απολαβής θερμότητας σε νερό και αέρα. Κατά αυτό τον τρόπο παρουσιάζεται και η ιστορική αναδρομή που ακολουθεί και χωρίζεται σε δύο μέρη.

4.3.1 Ιστορική αναδρομή ΦΒ/Θ συστημάτων νερού (PV/T water)

Η πρώτη εργασία πάνω στα ΦΒ/Θ νερού με επίπεδους συλλέκτες έγινε από τον Martin Wolf [22], ο οποίος ασχολήθηκε με ένα σταθερό φωτοβολταϊκό πυριτίου σε σειρά με θερμικό συλλέκτη χωρίς συγκεντρωτή, χρησιμοποιώντας μπαταρία για την αποθήκευση της ενέργεια. Από την ερεύνα του συμπέρανε τις προοπτικές και τα

ωφέλει αυτής της τεχνολογίας. Μετά την πρωτοπόρα ερευνά του Martin Wolf το 1976, το αντικείμενο των συλλεκτών ΦΒ/Θ νερού ερευνήθηκε από πολλά ιδρύματα όπως το MIT. Η επίδειξη του πρώτου εγχειρήματος έγινε από τον καθηγητή Boer, ο οποίος χρησιμοποίησε 13 συλλέκτες ΦΒ/Θ νερού στο σπίτι του, το 1978. Κατά την περίοδο 1974–1978 έρευνες πάνω στα φωτοβολταϊκά και στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα νερού έγιναν στο πανεπιστήμιο της Αριζόνα (Arizona State University). Μεγάλο βάρος δόθηκε στη μοντελοποίηση αυτών των συστημάτων για της εφαρμογές στο TRNSYS . Αυτή η δουλειά επεκτάθηκε και στους επίπεδους συλλέκτες ΦΒ/Θ, η οποία είναι και η βάση για το ΦΒ/Θ μοντέλο τύπου TYPE50 το οποίο χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα [23] [24].

Το 1978, στο εργαστήριο Lincoln (MIT Lincoln laboratory) κατάφεραν να αποκτήσουν τρεις πρωτότυπους επίπεδους συλλέκτες ΦΒ/Θ κανονικών διαστάσεων. Αυτοί οι τρεις συλλέκτες κατασκευάστηκαν από την ARCO (η ARCO κατασκεύασε και ΦΒ/Θ και νερού και αέρα) και την Spectrolab (η Spectrolab κατασκεύασε ΦΒ/Θ μόνο αέρα). Από τα πειράματα που έγιναν πάνω σε αυτά τα συστήματα φάνηκε ότι τα αποτελέσματα ήταν χαμηλότερα από τις αρχικές προδιαγραφές (ηλεκτρική απόδοση 6,5% και θερμική απόδοση 40%). Για αυτό το λόγο μια δεύτερη γενιά ΦΒ/Θ συλλεκτών κατασκευάστηκε, αποτελούμενη από ΦΒ/Θ νερού με το προηγούμενο σχέδιο, δύο πειραματικά ανεπτυγμένα ΦΒ/Θ με αέρα, και τρία νέας σχεδίασης ΦΒ/Θ νερού (με αγωγούς διπλής ροής, σχεδίαση χωρίς γυάλινο κάλυμμα, και διπλής φάση Φρέον όπου το ΦΒ/Θ λειτουργεί σαν εξατμιστής της αντλίας θερμότητας). Οι δύο πρώτοι τύποι των ΦΒ/Θ αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν ο μεν πρώτος από την MIT και από την Spire Corporation και ο άλλος από τις Solar Design Associates και Spire Corporation κάτω από την υψηλή εποπτεία της MIT .Τα αποτελέσματα των ερευνών καθώς και η τελική αναφορά αυτών έχουν εκδοθεί σε πολλές δημοσιεύσεις [25,26,27]. Στο εργαστήριο Sandia, έγινα πολλές έρευνες για την επίδραση της θερμότητας στην ηλεκτρική απόδοση. [28,29]. Το 1980 έρευνες ξεκίνησαν στα εργαστήρια της JPL και Brookhaven για την περαιτέρω ανάπτυξη των ΦΒ/Θ συλλεκτών.

Παρότι οι περισσότερε έρευνες γινόντουσαν στην Αμερική, κάποιες ερευνητικές προσπάθειες γινόντουσαν και σε ορισμένα άλλα μέρη του κόσμου. Στην Ιαπωνία, η Sharp κατασκεύασε δύο πρωτότυπους επίπεδους ΦΒ/Θ συλλέκτες [30], ενώ η δουλεία πάνω στους συγκεντρωτές των ΦΒ/Θ έγινα από τον Nakata et al. [31]. Στην Γερμανία, ο Karl ανέπτυξε και δοκίμασε φωτοβολταϊκό από κρυσταλλικό πυρίτιο (cSi) με γυάλινο κάλυμμα (μαζί με την AEGTelefunken) και στη Γαλλία έγιναν διάφορες μελέτες πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα με συμπυκνωτές [32,33].

Ωστόσο, το 1982 λόγω της πετρελαϊκής κρίση δημιουργήθηκε μεγάλο παγκόσμιο ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως προς την ηλιακή ενέργεια. Παρόλα αυτά στην Αμερική το ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμε πηγές ενέργειας δεν ήταν το ίδιο έντονο. Το πρώτα χρόνια της διακυβέρνηση Ρίγκαν (1981–1989) τα κονδύλια που προορίζονταν για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν εμφανώς περιορισμένα. Οι περισσότερες ομάδες που εργάζονταν πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα σταμάτησαν την έρευνα τους με εξαίρεση την SunWatt η οποία ασχολήθηκε με τα σταθερά συστήματα ΦΒ/Θ χαμηλής συγκέντρωση [34,35].

Ξεκινώντας την ανάπτυξη των ΦΒ/Θ συστημάτων, η SunWatt κατασκεύασε και εγκατέστησε πάνω από 100 ΦΒ/Θ συλλέκτες νερού από το 1981 έως το 1989. Επίσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 80 κάποιες μεμονωμένες προσπάθειες έγιναν στην Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην Ελβετία στο ινστιτούτο μικροτεχνικής στο πανεπιστήμιο του Νιουσατέλ (Institut de Microtechnique de l' Universite' de Neuchatel) [36], καθώς και στη Γιουγκοσλαβία. Ενώ στη δεκαετία του 90, στην Ευρώπη, έγινε στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως λόγω της παγκόσμιας αναγνώρισης του προβλήματος της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Στην Ολλανδία, οι έρευνες πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα ξεκίνησαν το 1989 στο ίδρυμα TNO σε συνεργασία με το ίδρυμα HES, όπου επιπλέον βαρύτητα δόθηκε στη μελέτη συστημάτων ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα για εφαρμογές θερμικών αντλιών. Μια άλλη σημαντική προσπάθεια έγινε στο πανεπιστήμιο του Αϊτχοφεν (Eindhoven University of TechnologyEUT) όπου δόθηκε διδακτορική διατριβή (19941998), και επικεντρώθηκε στην μελέτη των ΦΒ/Θ συστημάτων με γυάλινο κάλυμμα. Το 1999, η εταιρία Ecofys, το ίδρυμα TNO και το πανεπιστήμιο του Αϊτχόφεν (EUT) έκανα σε συνεργασία μία έρευνα για τις τεχνολογίες και την αγορά των ΦΒ/Θ συστημάτων [21]. Το ίδιο έτος, η έρευνα πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα του πανεπιστημίου του Αϊτχόφεν μεταφέρθηκε στο κέντρο ενεργειακή έρευνας της Ολλανδία (Energy Research Centre of the Netherlands ECN). Στο ECN έγινε σημαντική δουλειά πάνω στο σχεδιασμό των διαφόρων συστημάτων[37,38].

Στη Γερμανία, οι κατασκευαστές Zenith, Solarwerk και Solarwatt ανέπτυξαν ένα πρωτότυπο ΦΒ/Θ συλλέκτη στη δεκαετία του 90, αλλά δυστυχώς δεν κατέστη δυνατή η εμπορική εκμετάλλευση αυτού του συλλέκτη [39]. Οι συλλέκτες που κατασκευάστηκαν από την Solarwatt είχαν σχεδιαστεί να εγκατασταθούν σε πρόγραμμα επίδειξης στο Malteser Krankenhaus, αλλά αντί για τους ΦΒ/Θ συλλέκτες εγκαταστάθηκαν απλοί ΦΒ συλλέκτες.

Στην Δανία, ένα πρόγραμμα έρευνας πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα εκπονήθηκε από τις εταιρίες Batec που κατασκευάζουν ηλιακούς συλλέκτες, την Racell που κατασκευάζει ΦΒ συστήματα, και την εταιρία συμβούλων Esbensen Consulting engineers. Τα συστήματα αυτά δοκιμάστηκαν και εγκαταστάθηκαν το 2000. Όμως, λόγω της μικρής δυναμικής της δανέζικης αγορά ανανεώσιμων ενεργειών, η Batec αποφάσισε να τερματίσει την εμπλοκή της με την ανάπτυξη ΦΒ/Θ, ενώ η Racell συνέχισε την προσπάθεια της προς αυτή την κατεύθυνση[40].

Σημαντική δουλειά πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα έχει γίνει και στο πανεπιστήμιο της Πάτρας. Οι έρευνες αυτές αφορούν τις πειραματικές συγκριτικές μελέτες πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα με ή χωρίς γυάλινο κάλυμμα, με ή χωρίς διάχυτο ανακλαστήρα [13,17,41]. Επίσης η οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών αποτελεί αντικείμενο πολλών μελετών. Επιπλέον, στην Κύπρο έγινε μια αριθμητική μελέτη πάνω σε ένα θερμοσιφωνικού τύπου ΦΒ/Θ σύστημα όπου παρουσιάστηκε και εκτενή βιβλιογραφική αναφορά [14,42]. Το σύστημα αυτό μοντελοποιήθηκε σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο της Πάτρας.

Στο Ισραήλ, αναπτύχθηκε ένας εμπορικός συλλέκτης ΦΒ/Θ χωρίς γυάλινο κάλυμμα. Αρχικά έμφαση δόθηκε στην προσπάθεια να μειωθεί η υπερθέρμανση των ΦΒ που είναι ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα στην έρημο του Ισραήλ. Το χειμώνα του 1991/1992 ένα τέτοιο ΦΒ/Θ σύστημα εγκαταστάθηκε στο Κλίλ, μια μικρή πόλη του Ισραήλ. Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες αρχικά κατασκευαζόντουσαν από την εταιρία Chromagen, όμως από το 2002 και μετά η παραγωγή πήγε στην εταιρία Millennium Electric. Από εκείνη τη στιγμή και μετά η Millennium Electric είχε τα αποκλειστικά δικαιώματα για την παραγωγή των ΦΒ/Θ. Το 2004 η Millennium Electric ξεκίνησε σε συνεργασία με το τεχνολογικό πανεπιστήμιο της Δανίας (Technical University of Denmark) το πρόγραμμα MULTISOLAR. Το πρόγραμμα MULTISOLAR είναι ένα επιδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση πρόγραμμα για την ανάπτυξη ΦΒ/Θ συστήματα ενσωματωμένα σε κτήρια για την αγορά της Ευρώπης. Τα προγράμματα για την ανάπτυξη των ΦΒ/Θ συστημάτων δεν έτρεχαν μονό στην Ευρώπη αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο. Στο πανεπιστήμιο του Χόνγκ Κόνγκ (City University of Hong Kong), ο καθηγητής Chow δημιούργησε ένα δυναμικό μοντέλο για τους ΦΒ/Θ συλλέκτες όπου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόδοσης των θερμοσιφωνικών συστημάτων [43]. Στο πανεπιστήμιο τεχνολογικό της Κίνας (University of Science and Technology of China) έκαναν ανάλυση ευαισθησίας των συστημάτων αυτών [44].

Τέλος στην Αμερική τα κυριότερα προγράμματα έγιναν από τις εταιρίες PowerLight and SDA. Πιο συγκεκριμένα η εταιρία PowerLight επικεντρώθηκε και ανέπτυξε τα ΦΒ/Θ συστήματα χωρίς γυάλινο κάλυμμα, βασισμένη στα μεταλλικά κελιά άμορφου πυριτίου (aSi) για συλλέκτες πισινών. Ωστόσο προβλήματα που είχαν να κάνουν με το κόστος παραγωγής και την αξιοπιστία των προϊόντων έκαναν απαγορευτική την παραγωγή των ΦΒ/Θ συστημάτων [45]. Η εταιρία SDA επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ΦΒ/Θ συλλεκτών με γυάλινο κάλυμμα. Όμως η εμπορική τους παραγωγή δεν ξεκίνησε ποτέ διότι το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης ήταν πολύ μεγάλο για να δικαιολογηθεί από τα αναμενόμενα κέρδη.

4.3.2 Ιστορική αναδρομή των ΦΒ/Θ συστημάτων αέρα (PV/T air)

Η πρώτη εφαρμογή ΦΒ/Θ αέρα έγινε το 1973/1974 από τον καθηγητή Boer σε ένα σπίτι μέσα στο πανεπιστήμιο Ντελαγουέρ (University of Delaware). Καθηγητή Boer μέχρι εκείνη τη στιγμή θεωρείτο αυθεντία πάνω στα απλά ΦΒ έχοντας κάνει πολλές μελέτες και πειράματα πάνω σε αυτά. Τα ΦΒ/Θ αέρα εγκαταστάθηκαν στην ταράτσα και στην πρόσοψη το σπιτιού, ενώ 24 από του συλλέκτες της οροφής είχαν κελιά CdS/Cu2S[46].

Μετά την πρωτότυπη δουλεία του καθηγητή Boer πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα αέρα, στα τέλη της δεκαετίας του 70 και στις αρχές του 80, αυτοί που ακολούθησαν ήταν η ομάδα του Hendrie, το εργαστήριο Sandia και το πανεπιστήμιο του Μπράουν (Brown University) [25,27]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το 1978 τα εργαστήρια του MIT Lincoln και του Sandia απόκτησαν σε συνεργασία δύο επίπεδους πρωτοτύπους ΦΒ/Θ συλλέκτες αέρα κατασκευασμένοι από τις εταιρίες ARCO και Spectrolab [25]. Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες της πρώτης γενιάς λόγω της ανεπαρκής επίδοσης τους ακολουθήθηκαν από αυτούς της δεύτερης γενιάς. Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες δεύτερης γενιάς έφεραν διάφορες καινοτόμες ιδέες που αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια του MIT, που όμως λόγω της περικοπής των κονδυλίων δεν πρόλαβαν να δοκιμαστούν.

Στο πανεπιστήμιο του Μπράουν (Brown University) κατασκευάστηκε το 1982 ένα σπίτι 33,5 m2 με ΦΒ/Θ συστήματα αέρα. Όμως η χρηματοδότηση σταμάτησε πριν χρησιμοποιηθεί το σπίτι και βγουν χρήσιμα συμπεράσματα [47] .

Η κατάσταση στα μέσα και τα τέλη της δεκαετίας του 80 ήταν παρόμοια με αυτή των ΦΒ/Θ συστημάτων νερού. Εξαίρεση αποτέλεσε η δουλειά των Komp και Reeser οι οποίοι μελέτησαν τα συστήματα ΦΒ/Θ με συγκεντρωτή και γυάλινο κάλυμμα. [48]. Ο αριθμός των δημοσιεύσεων άρχισε να αυξάνεται πάλι στις αρχές του 90.

Στην Ιαπωνία, ο Ito και ο Miura έκαναν μετρήσεις πάνω σε μερικώς διάφανο φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετημένα στο πάνω μέρος των συλλεκτών αέρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα [49]. Αυτό το σχέδιο προτιμήθηκε έναντι του σχεδίου όπου ο αέρα βρισκόταν στον ενδιάμεσο χώρο ανάμεσα στο φωτοβολταϊκό και το επάνω κάλυμμα. Λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας που παρουσιάζεται στο τελευταίο. Η θερμική απόδοση ήταν της τάξης του 40%, με φανερή εξάρτηση από την ταχύτητα του ανέμου.

Το 1994, ο ΦΒ/Θ συλλέκτης αέρα Capthel, αναπτύχθηκε από τη Γαλλική εταιρία Cythelia [50].

Επίσης στις αρχές του 1990, στο Ισραήλ, αναπτύχθηκε ένας ΦΒ/Θ συλλέκτης ο οποίος μάλιστα προωθήθηκε στην αγορά με μονάδα απολαβής θερμότητας και νερού και αέρα. [51]. Όμως, ο λόγος ύπαρξης της μονάδας απολαβής θερμότητας αέρα ήταν καθαρά για να ψύχει το σύστημα (δηλαδή η απορροφούμενη θερμότητα δεν τη χρησιμοποιούσαν κάπου αλλά αποβαλλόταν στο περιβάλλον).

Η Γερμανική εταιρία Grammer Solar και η Δανέζικη εταιρία Aidt Miljø σε συνεργασία αναπτύξαν ένα ΦΒ/Θ συλλέκτη, με ένα μικρό φωτοβολταϊκό ποσοστό[40]. Σε αυτό τον τύπο συστήματος μόνο ένα μικρό μέρος του απορροφητή καλύπτεται από φωτοβολταϊκα απλώς για να καλύπτει την ενέργεια που καταναλώνει ο ανεμιστήρας. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτόνομες εφαρμογές πανδοχείων για λόγου αφύγρανσης. Επιπλέον η εταιρία Grammer Solar ανέπτυξε και έβγαλε στην αγορά ΦΒ/Θ συλλέκτη αέρα όπου ο απορροφητής είναι τελείως καλυμμένος με φωτοβολταϊκά. Το πρώτο πρόγραμμα επίδειξης έγινε το 1996 (για προθέρμανση αέρα αερισμού εγκατάστασης βαψίματος στη Νυρεμβέργη).

Στον Καναδά, οι εταιρίες Conserval Engineering, Bechtel και CANMET ανέπτυξαν σε συνεργασία το ΦΒ σύστημα SOLARWALL. Το σύστημα αυτό εξετάστηκε πειραματικά όσον αφορά την θερμική και ηλεκτρική του απόδοση πριν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές [52].

Στο πανεπιστήμιο της Πάτρας έγιναν εκτενείς έρευνες πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα και νερού και αέρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα [41]. Τη βέλτιστη απόδοση βρέθηκε να την έχει το ΦΒ σύστημα που έρχεται σε απευθείας επαφή με την επιφάνεια και τις σωλήνες του απορροφητή, ενώ μια ροή αέρα από τον χώρο που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του απορροφητή μπορεί να δώσει ζεστό αέρα. Επιπλέον, η θερμική βελτιστοποίηση του ΦΒ/Θ συλλέκτη αέρα, βάζοντας ένα λεπτό έλασμα μελετήθηκε και πειραματικά [53,54] και αριθμητικά. [55].

Στην Αμερική, στο πανεπιστήμιο του Μαϊάμι (University of Miami), ο ερευνητής Sopian έκανε τη διδακτορική του διατριβή πάνω σε ένα ΦΒ/Θ συλλέκτη αέρα διπλού περάσματος, ο οποίο συνέχισε αυτή τη δουλειά στο πανεπιστήμιο της Μαλαισίας (Universiti Kebangsaan Malaysia) [56]. Επιπλέον ερεύνησε και το ΦΒ/Θ συλλέκτη αέρα διπλού περάσματος χαμηλής συγκέντρωσης.

Στην Αίγυπτο, ο μελετητής Hegazy προκειμένου να συγκρίνει τους διάφορους τύπους των ΦΒ/Θ συστημάτων αέρα έκανε μια μελέτη με ένα πρόγραμμα εξομοίωσης, όπου η απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη διπλού περάσματος τράβηξε την προσοχή.

Τέλος, μια πειραμετρική δουλειά του Tiwari και του Sodha έγινε πάνω ΦΒ/Θ συστήματα με και χωρίς γυάλινο κάλυμμα. Οι δύο ερευνητές βρήκαν ότι το γυάλινο κάλυμμα σχεδόν διπλασιάζει την ωφέλιμη θερμική ενέργεια ενώ η ηλεκτρική ενέργεια πέφτει από το 10% στο 9%[57].

4.4 ΤΥΠΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ (ΦΒ/Θ) ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Τα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας όπου κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο. Κατά συνέπεια τα συστήματα αυτά διακρίνονται ανάλογα με το εργαζόμενο μέσο που κυκλοφορεί και ψύχει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Έτσι έχουμε: ΦΒ/Θ συστήματα νερού και αέρα [12,13] .

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία αέρα απαιτεί απλούστερη και φθηνότερη διάταξη, αλλά η ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο αποδοτική. Όταν ο αέρας του περιβάλλοντος έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 Co τα ΦΒ/Θ συστήματα αέρα έχουν περιορισμένες δυνατότητες (κυρίως φυσικό αερισμό σε κτήρια και θέρμανση αέρα για ορισμένες βιομηχανικές και αγροτικές διεργασίες). Η κυκλοφορία του αέρα σε αυτές τις διατάξεις γίνεται είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με βεβιασμένη κυκλοφορία [53] . Η φυσική κυκλοφορία του είναι ο ευκολότερος τρόπος να απομακρυνθεί η θερμότητα από τα ΦΒ πανέλα και έτσι να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη θέρμανση τους [13].

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία νερού είναι πιο ακριβή διαδικασία σε σχέση με την απαγωγή θερμότητας με αέρα, και θεωρείται πιο πρακτική στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από τους 20 Co , επειδή ηθερμοκρασία του νερού του δικτύου είναι κάτω από τους 20 Co σχεδόν όλο το χρόνο. Η χρήση του νερού ως ρευστού απολαβής της θερμότητας είναι αποδοτική όλο το έτος, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Γενικά τα ΦΒ/Θ συστήματα νερού φαίνονται πιο ελκυστικά λόγω της φύσης του ρευστού που επιτρέπει καλύτερη εξαγωγή θερμότητας[58].

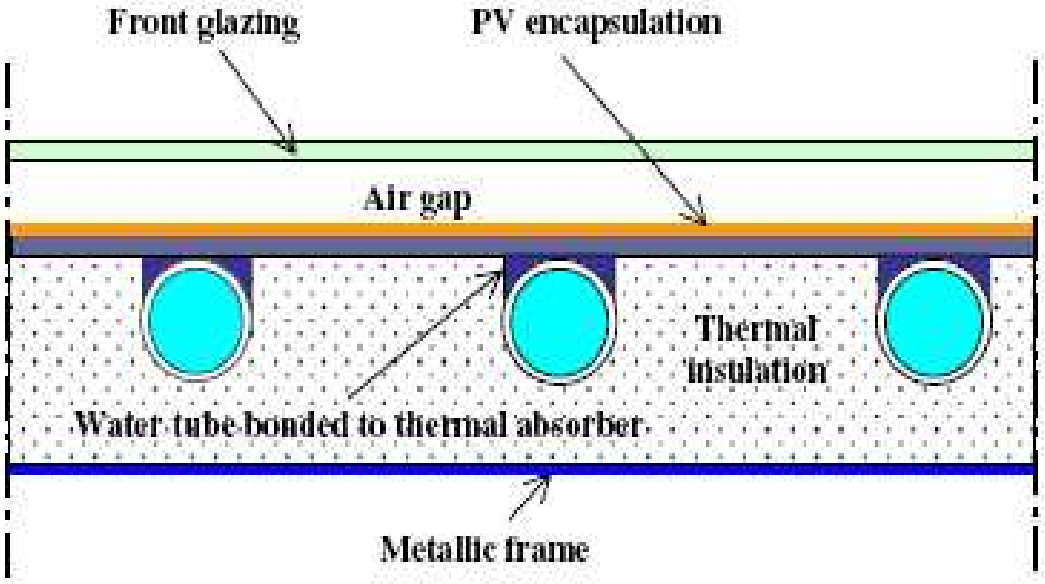
Ο συνήθης τρόπος ψύξης του ΦΒ με νερό είναι η κυκλοφορία του διαμέσου εναλλάκτη θερμότητας σε επαφή με την πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, όμως δεν είναι ο μόνος όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

4.4.1 Υβριδικοί ΦΒ/Θ συλλέκτες νερού

Στην παρούσα εργασία αυτό που μας ενδιαφέρει και θα ασχοληθούμε είναι οι ΦΒ/Θ συλλέκτες που χρησιμοποιούν νερό για την απαγωγή της θερμότητας.

Στην περίπτωση αυτή η απόδοση του ΦΒ/Θ έχει να κάνει με τον τύπο της μονάδας απαγωγής θερμότητας που χρησιμοποιείται γιατί η απόδοση στην συναλλαγή θερμικής ενέργειας από το ΦΒ καθορίζει την απόδοση μετατροπής και του ηλεκτρισμού και της θερμότητας [14] .

Οι κυριότερες κατηγορίες των ΦΒ/Θ συλλεκτών με νερό που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία είναι: οι επίπεδοι συλλέκτες (flatplate collectors ή sheetandtube PV/T

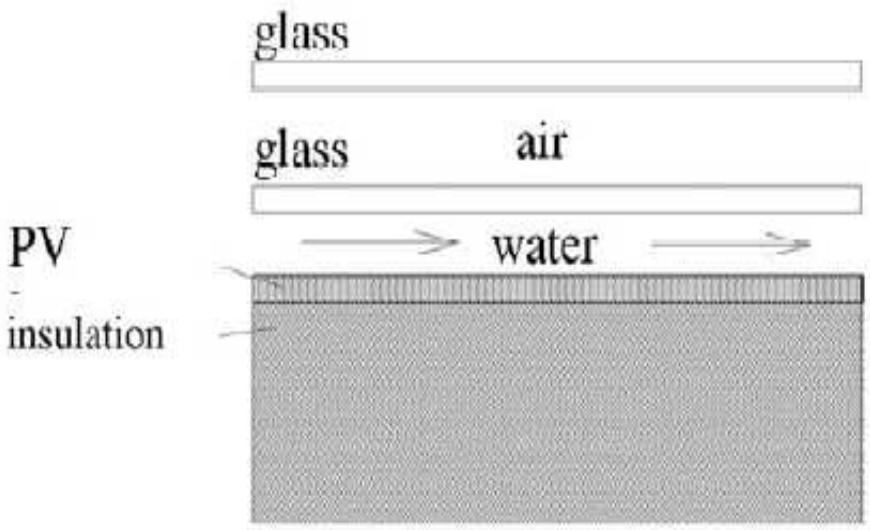


Σχήμα 4.4 : διάταξη επίπεδου συλλέκτη.

collectors), οι συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια (channel PV/Tcollectors), οι ελεύθερηςροής ΦΒ/Θ συλλέκτες (free flow PV/Tcollectors), και οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης (twoabsorber PV/Tcollectors) [42,59].

- **Οι επίπεδοι συλλέκτες (flatplate collectors ή sheetandtube PVT-collectors** είναι οι πιο διαδεδομένοι και παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η μόνη σημαντική διαφορά όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί είναι τα φωτοβολταϊκά πανέλα που είναι προσαρτημένα στην κορυφή της απορροφητική πλάκας. Στο σχήμα

φαίνεται εκτός των άλλων η απορροφητική πλάκα με τους σωλήνες, το γυάλινο κάλυμμα, και η μόνωση.



Σχήμα 4.5 : Διάταξη συλλέκτη ΦΒ/Θ με κανάλια.

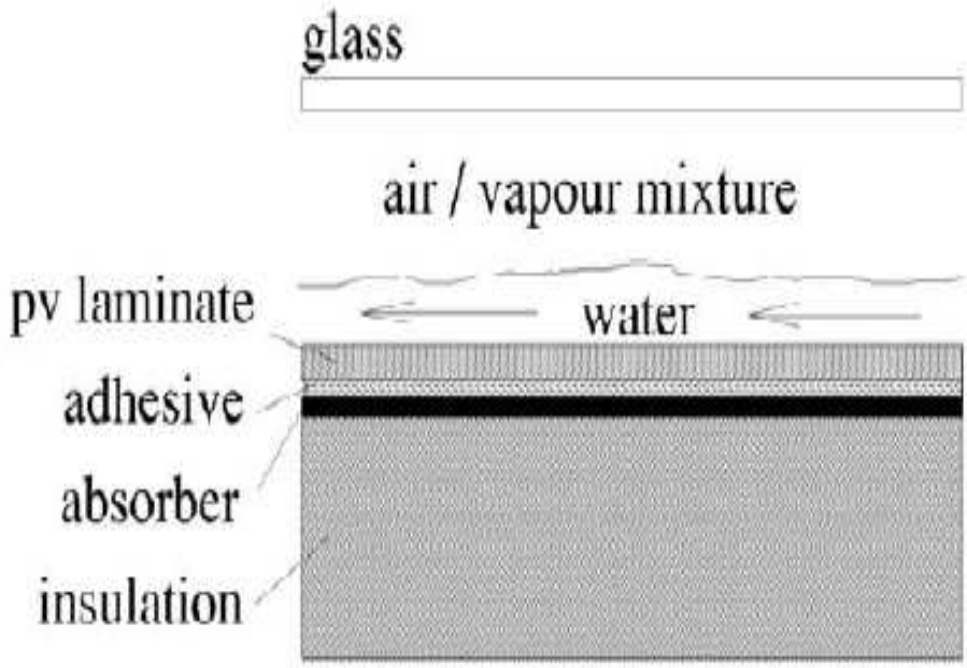
Η θερμική μόνωση αυτών των συστημάτων μπορεί να βελτιωθεί βάζοντας επιπλέονκαλύμματα. Όμως, επειδή κάθε επιπλέον κάλυμμα δημιουργεί επιπρόσθετη αντανάκλαση, αυτή η πρακτική μειώνει την ηλεκτρική παραγωγή του ΦΒ/Θ συλλέκτη. Επίπεδοι ΦΒ/Θ συλλέκτες που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον είναι αυτοί που έχουν ένα, δύο ή κανένα κάλυμμα. Συστήματα με παραπάνω από δύο καλύμματα δεν μας απασχολούν καθώς ο ηλεκτρικός βαθμός των ΦΒ/Θ πέφτει παρά πολύ[59].

- **Οι συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια (channel PV/Tcollectors)** φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Αυτού του τύπου οι συλλέκτες υπόκεινται σε περιορισμούς όσον αναφορά τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το

απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στις συνήθεις εφαρμογές επιτρέπετε να χρησιμοποιείται νερό που έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου 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.Σαν αποτέλεσμα η κατασκευή είναι αρκετά βαριά και εύθραυστη. Μια διαφοροποίηση αυτής του τύπου είναι να αφήσουμε το νερό να ρέει κάτω από το φωτοβολταϊκό.

Οι εν λόγω συλλέκτες έχουν δοκιμαστεί και με διάφανα αλλά και με αδιάφανα φωτοβολταϊκά πανέλα. Στις εφαρμογές με αδιάφανα φωτοβολταϊκά πανέλα η θερμική απόδοση είναι καλύτερη όμως το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό. Επιπλέον όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα φωτοβολταϊκά πανέλα θα πρέπει να αντέχουν στην πίεση του νερού. Στην περίπτωση των αδιαφανών φωτοβολταϊκών πανέλων αυτό είναι λιγότερο πρόβλημα αφού μπορούν να προσαρτηθούν πάνω τους κατάλληλα ελάσματα ούτως ώστε να πάρουν τις τάσεις [59] .

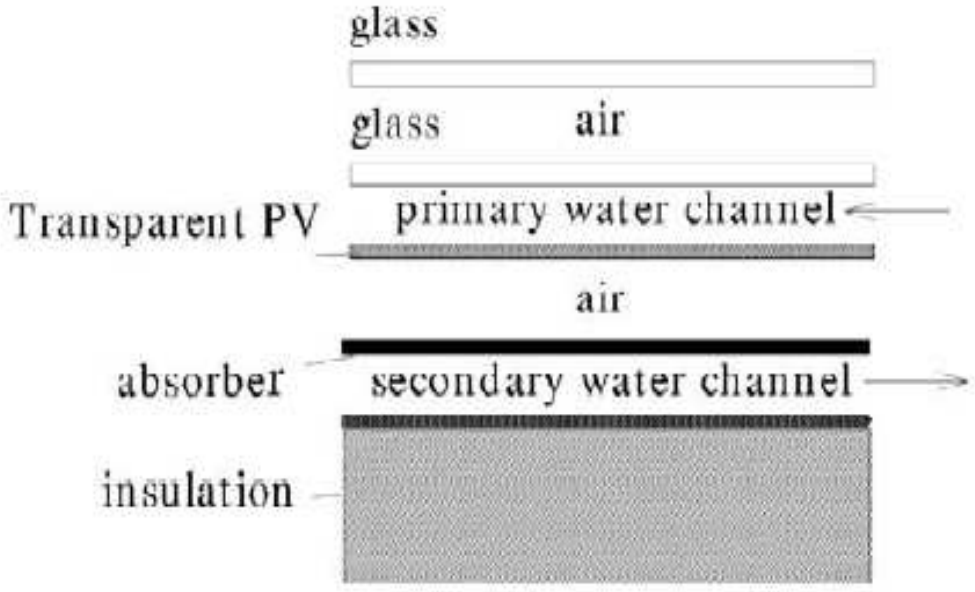
- **Οι ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτες (free flow PV/Tcollectors).** Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό όπως φαίνεται στην φωτογραφία που ακολουθεί. Σε σύγκριση με τους συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια εδώ δεν έχουμε το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται, ενώ επιπρόσθετα το πρόβλημα αντοχής του επιπλέον γυαλιού εξαλείφεται. Στον αντίποδα το μειονέκτημα του είναι η αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης. Επιπλέον όπως και στην περίπτωση των συλλεκτών ΦΒ/Θ με κανάλια και εδώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το υγρό που κυλάει πάνω από το φωτοβολταϊκό θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε



Σχήμα 4.6 : Διάταξη ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτη.

φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η χρησιμοποίηση του νερού είναι μια λύση όμως, εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Η εξάτμιση έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί προβλήματα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή [59].

- **Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης (twoabsorber PV/T-collectors)** χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι. Με αυτόν τον τύπο συλλέκτη ασχολήθηκε ο Hendrie στο εργαστήριο του MIT όπου απέδειξε την υψηλή θερμική απόδοση του [25]. Παρόλα αυτά, οι επισημάνσεις που έγιναν προηγουμένως για το βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφανο μονωτικό στρώμα ανάμεσα στο επάνω και το κάτω κανάλι ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Όμως αυτό μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη. Στη φωτογραφία φαίνεται η διάταξη ενός ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης [59].



Σχήμα 4.7 : Διάταξη ΦΒ/Θ συλλέκτη διπλής απορρόφησης.

4.4.2 Συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας

Οι συγκεντρωτικοί ΦΒ/Θ συλλέκτες χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν το επίπεδο ακτινοβολίας των ΦΒ/Θ συστημάτων. Η έρευνα των συγκεντρωτικών ΦΒ/Θ βασίστηκε στην ιδέα της αντικατάστασης των ακριβών ΦΒ με φτηνότερους αντανακλαστές. Ο συνδυασμός συσκευών ηλιακής συγκέντρωσης και των ΦΒ είναι μέχρι σήμερα η πιο βιώσιμη μέθοδος να μειωθεί το κόστος των συστημάτων.

Ένας παράγοντας που προκαλεί ανησυχία είναι το θέμα της αύξησης της θερμοκρασίας των κελιών, που ουσιαστικά επιβάλει την ψύξη τους. Οι συγκεντρωτές διακρίνονται διάχυτους ανακλαστήρες (diffuse reflector), κοιλότηταςV

αντανακλαστήρες (Vtrough reflectors), CPC τύπου αντανακλαστές (σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές Compound Parabolic Concentrators),και διαθλαστικοί συγκεντρωτές (refractive concentrators) [60].

Τις περισσότερες φορές που χρησιμοποιούνται ακίνητα κάτοπτρα χρησιμοποιούνται διάχυτοι ανακλαστές [14,13,12,17]. Με τους ανακλαστήρες αυτούς εξασφαλίζεται μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή της πρόσθετης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων. Οι διάχυτοι ανακλαστήρες παρέχουν λιγότερη πρόσθετη ενέργεια σε σύγκριση με τις άλλες κατοπτρικές διατάξεις, αλλά αυτές προκαλούν έντονες διαφορές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων που οδηγεί στη μείωση της ηλεκτρική τους ενέργεια [17].

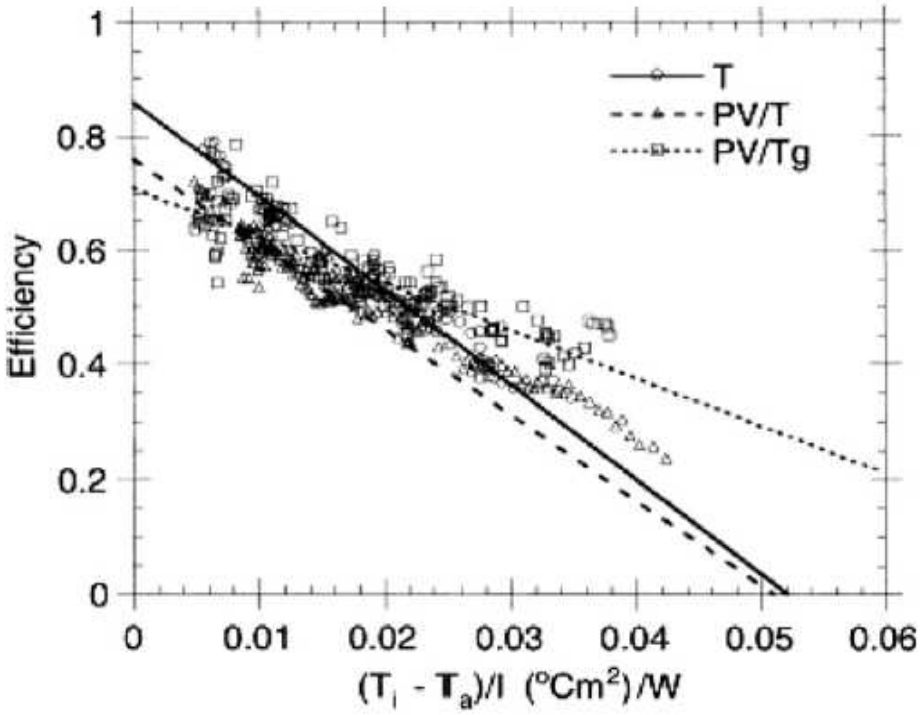
Όσον αναφορά τους αντανακλαστές τύπου V, είναι συστήματα τα οποία ακολουθούν την πορεία του ήλιου με ένα ή δύο άξονες και χρησιμοποιούν επίπεδους καθρέπτες. Οι CPC είναι μια άλλη κατηγορία συσκευών που είναι ενσωματωμένες με το ΦΒ σύστημα, και περισσότερες εξ αυτών είναι στατικές (δεν ακολουθούν την πορεία του ήλιου), αλλά έχουν προβλήματα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, που δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στην επιφάνεια των κελιών όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω[60].

4.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΒ/Θ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του αέρα, η μάζα του εργαζόμενου μέσου, ο αριθμός των καλυμμάτων, η θερμική αγωγιμότητα του απορροφητή με το ρευστό. Ενώ ειδικά στην περίπτωση των ΦΒ/Θ συλλεκτών νερού επηρεάζουν και οι διαστάσεις της απορροφητικής πλάκας όπως η απόσταση μεταξύ των σωλήνων, η διάμετρος των σωλήνων και το πάχος [42].

4.5.1 ΦΒ/Θ συλλέκτες με χρήση καλύμματος

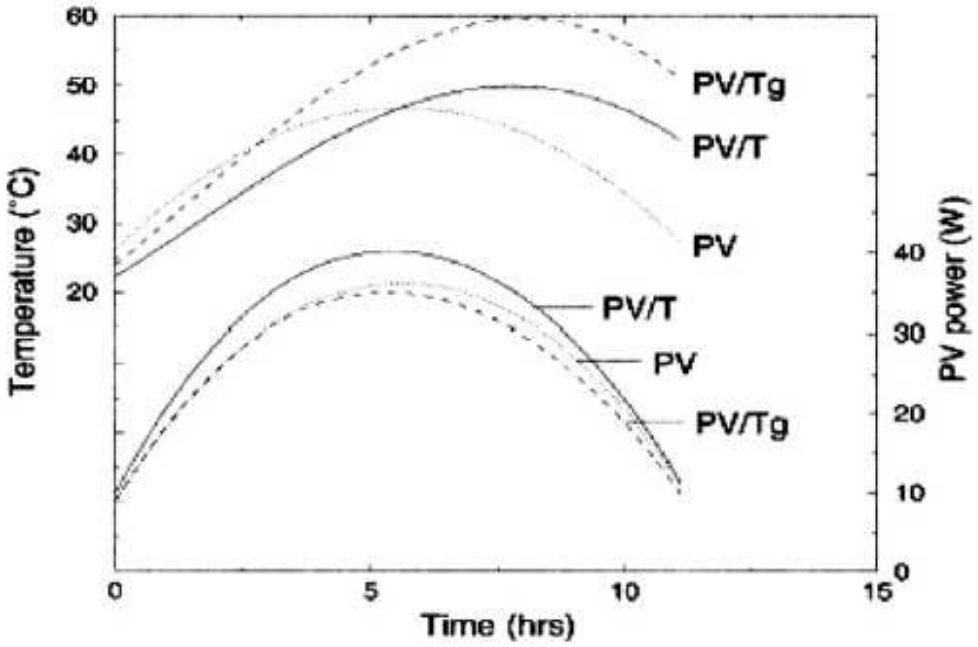
Δυο μελετητές ο Sandnes και ο Rekstad σχεδίασαν κατασκεύασαν και δοκίμασαν ένα ΦΒ/Θ συλλέκτη και ανέπτυξαν ένα αναλυτικό μοντέλο για αυτά τα συστήματα μετατρέποντας το πολύ γνωστό μοντέλο για τους επίπεδους συλλέκτες των Hottel και Willier [24] ώστε να περιλαμβάνει τις επιδράσεις των ΦΒ κελιών και της γεωμετρία του απορροφητή που χρησιμοποιείται. Ο συλλέκτης ΦΒ/Θ κατασκευάστηκε κολλώντας ένα ΦΒ κελί πυριτίου (mcSi) σε ένα μαύρο πλαστικό απορροφητή. Καθώς το ΦΒ κελί είναι πολύ εύθραυστο και έχει αρκετά μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από τον πλαστικό απορροφητή, χρησιμοποιείται κόλλα πυριτίου (πάχους 0,5mm) επειδή είναι αρκετά ελαστική ώστε να απορροφάει την διαφορά της θερμικής διαστολής ανάμεσα στο ΦΒ κελί και στον πλαστικό απορροφητή [16]. Οι δύο ερευνητές εξήγησαν ότι η επίδραση της επιπλέον χρήσης γυάλινου καλύμματος στο συλλέκτη ΦΒ/Θ ήταν να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Όμως η ενεργειακή απορρόφηση μειώθηκε (περίπου 10%) και αυτή λόγω της αντανάκλασης από το γυαλί. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι καμπύλες θερμικής απόδοσης όπως αυτές προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα για ένα θερμικό συλλέκτη (T), ένα φωτοβολταϊκό θερμικό συλλέκτη ΦΒ/Θ (PV/T), και ένα φωτοβολταϊκό συλλέκτη με γυάλινο κάλυμμα (PV/Tg)



Σχήμα 4.8 : Καμπύλες θερμικής απόδοσης από πειραματικά αποτελέσματα.

Από το σχήμα φαίνεται ότι ο θερμικός απορροφητής (Τ) απορροφά ακτινοβολία περισσότερο αποτελεσματικά. Καλύπτοντας τον απορροφητή με ΦΒ κελιά, μειώνεται η ενέργεια που απορροφάτε από τον απορροφητή ενώ πέφτει και ο συντελεστής θερμικής απώλειας. Επιπλέον προσθέτοντας γυάλινο κάλυμμα (PV/Tg) στο συλλέκτη μειώνονται οι θερμικές απώλειες αλλά μειώνεται επίσης και η ενέργεια που απορροφάτε από το συλλέκτη λόγω της αντανάκλασης από το γυάλινο κάλυμμα.

Ενώ στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η καμπύλη θερμοκρασίας κελίου σε σχέση με την ισχύ του φωτοβολταϊκού και του χρόνου για ένα ΦΒ/Θ σύστημα (PV/T), ένα ΦΒ/Θ σύστημα με γυάλινο κάλυμμα (PV/Tg) και ένα ΦΒ σύστημα χωρίς θερμική μόνωση.

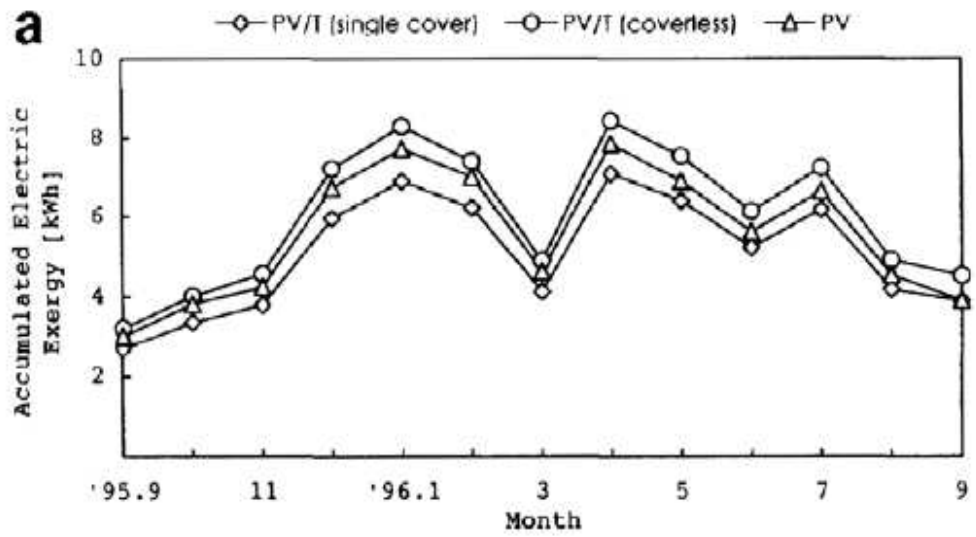


Σχήμα 4.9 : Καμπύλη θερμοκρασίας κελιού σε σχέση με την ισχύ του φωτοβολταϊκού και του χρόνου.

Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια ενός συστήματος ΦΒ για μία τυχαία μέρα είναι 306.9Wh, για το ΦΒ/Θ χωρίς γυάλινο κάλυμμα είναι 339.3 Wh, και για το ΦΒ/Θ με γυάλινο κάλυμμα 296.2 Wh. Είναι εμφανές από τα αποτελέσματα ότι το ΦΒ/Θ χωρίς γυάλινο κάλυμμα παράγει την μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια. Από την άλλη μεριά η χειρότερη ηλεκτρική απόδοση του συστήματος οφείλεται στην χαμηλή θερμοπερατότητα της ακτινοβολίας λόγω της ύπαρξης του γυάλινου καλύμματος.

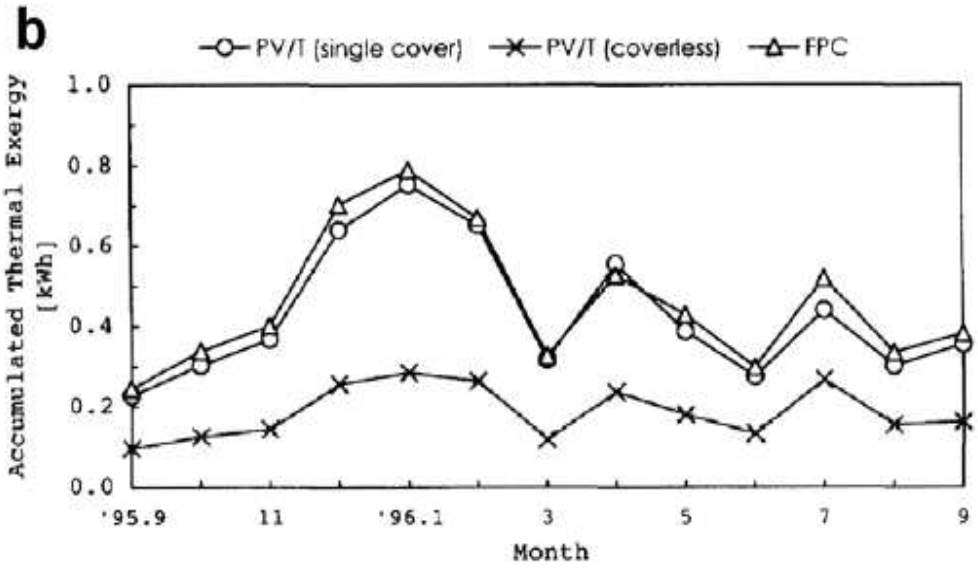
Οι ερευνητές Fujisawa και Tani [61] σχεδίασαν και κατασκεύασαν ένα συλλέκτη ΦΒ/Θ για να κάνουν μετρήσεις. Χρησιμοποίησαν την εξέργεια για να προσδιορίσουν την πειραματική απόδοση του συστήματος αφού αυτή μπορεί να δώσει ποιοτικούς υπολογισμούς συγκρίνοντας την ηλεκτρική και την θερμική ενέργεια. Όπου εξέργεια είναι η μέγιστη ποσότητα αξιοποιήσιμης ενέργειας δηλαδή το γινόμενο της διαθέσιμης ενέργειας επί ένα συντελεστή χρησιμοποίησης [11].

Από τα αποτελέσματα βρήκαν ότι ο ΦΒ/Θ συλλέκτης χωρίς κάλυμμα παράγει την μεγαλύτερη εξέργεια όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.10 : Καμπύλη εξέργειας.

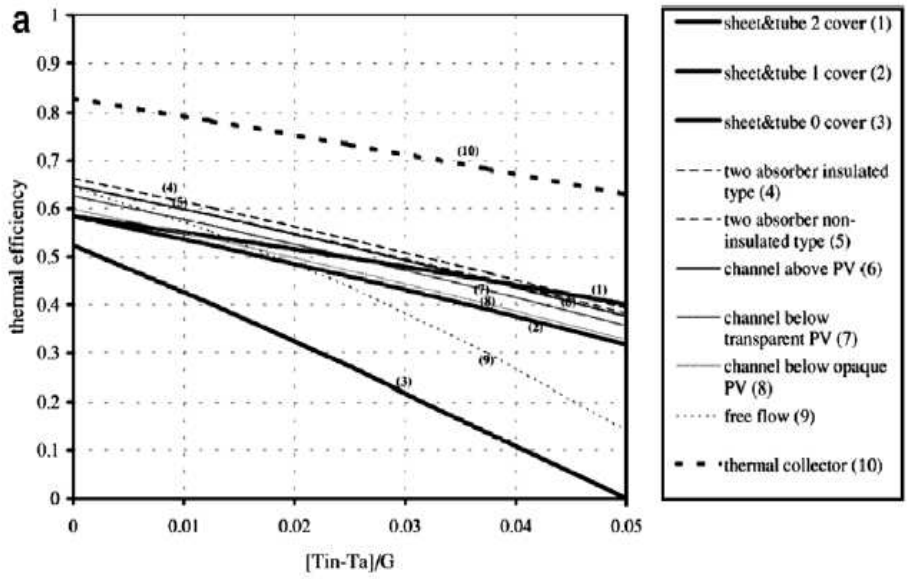
Από την άλλη μεριά βρήκαν ότι η θερμική απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη με γυάλινο κάλυμμα ήταν συγκρίσιμη με αυτή του επίπεδου θερμικού συλλέκτη.



Σχήμα 4.11: Καμπύλη θερμικής παραγωγής.

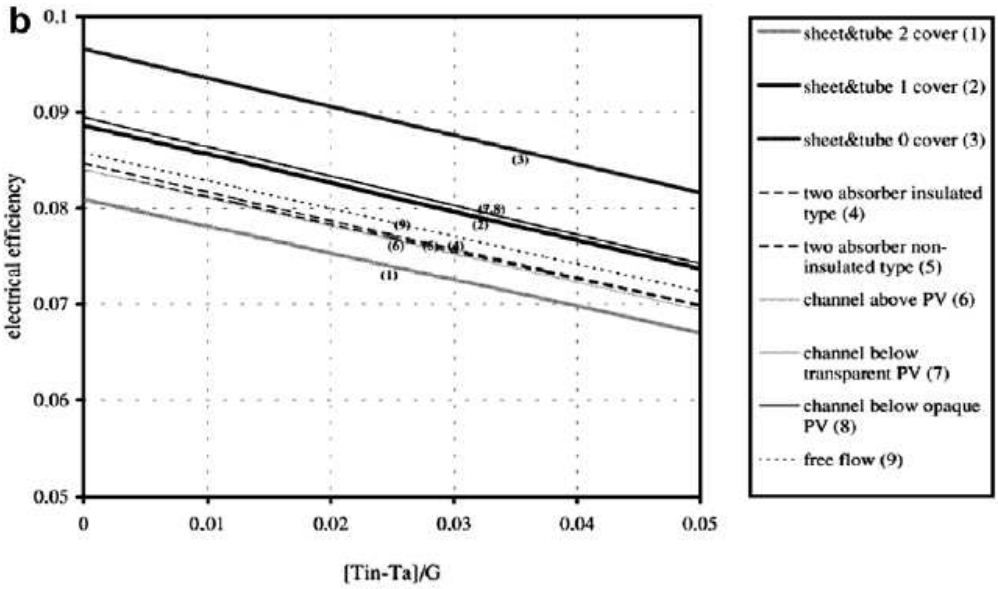
Τέλος ο ΦΒ/Θ συλλέκτης χωρίς κάλυμμα ήταν κατώτερος λόγω των θερμικών απωλειών από το πάνω μέρος.

Ο Zondag και οι συνεργάτες του ασχοληθήκαν και αυτοί με αυτό το ερευνητικό πεδίο [59]. Στην δικιά τους αριθμητική μελέτη επικεντρώθηκε στο γεγονός ότι ο συλλέκτης με σωλήνες και χωρίς κάλυμμα όπως φαίνεται στο σχήμα παρουσιάζει πολύ φτωχή θερμική απόδοση λόγω των μεγάλων θερμικών απωλειών από το πάνω μέρος στο περιβάλλον.



Σχήμα 4.12 : Θερμική παραγωγή για τους διάφορους τύπους ΦΒ/Θ συλλεκτών.

Από την άλλη μεριά αναφέρεται ότι η ηλεκτρική απόδοση του επίπεδου συλλέκτη με σωλήνες και με δύο καλύμματα πέφτει δραματικά λόγω της μειωμένης ακτινοβολίας που φτάνει στο κελί, αποδιδόμενο στην αντανάκλαση από τα δύο καλύμματα (καμπύλη 1 στο σχήμα 4.13). Επίσης είναι προφανές από την (καμπύλη 3 στο σχήμα 4.13) ότι η καλύτερη ηλεκτρική απόδοση επιτυγχάνεται από ΦΒ/Θ συλλέκτη χωρίς γυάλινο κάλυμμα που συμφωνεί με τα ευρήματα των άλλων ερευνητών.

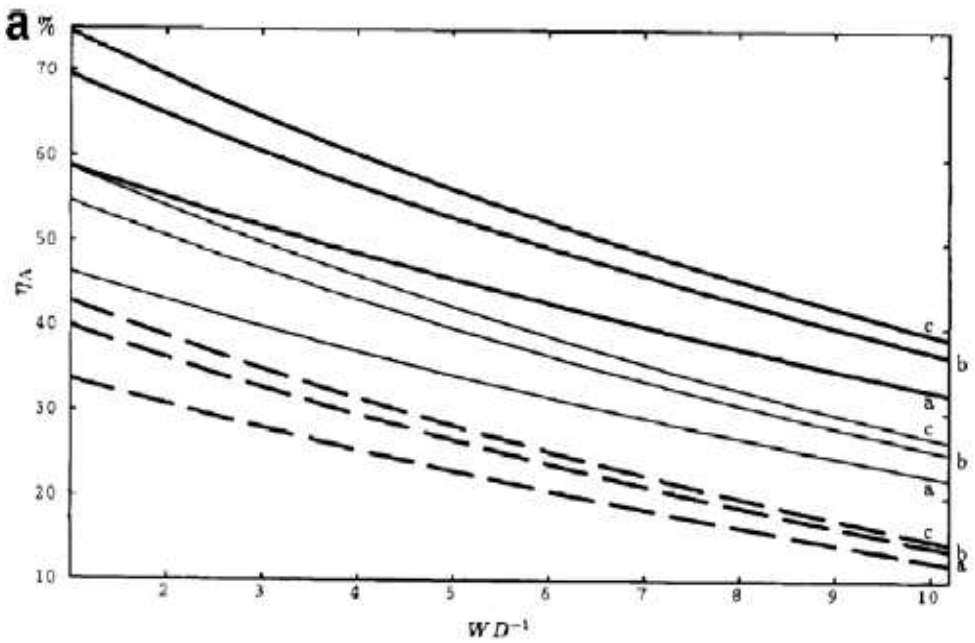


Σχήμα 4.13 : Ηλεκτρική παραγωγή για τους διάφορους τύπους ΦΒ/Θ συλλεκτών.

4.5.2 Ροή μάζας εργαζόμενου μέσου

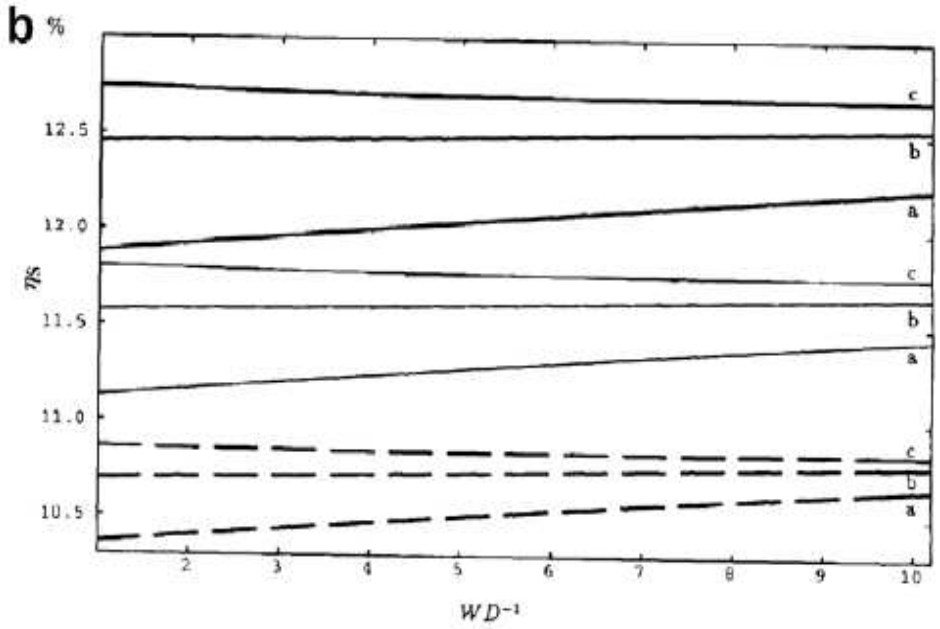
Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες μπορούν να εργασθούν με φυσική κυκλοφορία ή με βεβιασμένη κυκλοφορία χρησιμοποιώντας αντλίες ή ανεμιστήρες για να μετακινήσουν το ρευστό[43,53]. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την επίδραση της ροής μάζας στην απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη. Όλοι κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα: ότι δηλαδή η απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη εξαρτάται από τη ροή μάζας καθώς η ταχύτητα του νερού μέσα στο σωλήνα αυξάνει, αυξάνει και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το πλάι, ο οποίος μεγιστοποιεί και την ψύξη του ΦΒ/Θ αλλά και την μεταφορά θερμότητας στο νερό. Παρόλα αυτά οι διάφοροι ερευνητές που ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα δεν συμφωνούν στην τιμή της βέλτιστης μάζας.

Ο Bergene και ο Lovvik [62] πραγματοποίησαν μια παραμετρική μελέτη της ροής μάζας σαν συνάρτηση των γεωμετρικών παραμέτρων W/D. Από τις μετρήσει που έκαναν βρήκαν ότι η θερμική απόδοση αυξάνεται μόνο κατά 0,10 όταν η ροή μάζας αυξηθεί από 0,001 σε 0,075 kg/s όπως φαίνεται και από το σχήμα. Συνεπώς πρότειναν ότι όταν η ροή μάζας είναι γύρο στα 0,001 kg/s δεν υπάρχει όφελος να αυξηθεί παραπάνω. Στο σχήμα φαίνεται η θερμική nA και ηλεκτρική απόδοση nS σαν συνάρτηση του W/D με W σταθερό και το D να μεταβάλλεται από 0.01 στο 0.10 m με σταθερό βήμα ίσο με 0.010 m. Η γραμμοσκιασμένη γραμμή, η λεπτή γραμμή και η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύουν θερμοκρασίες εισόδου του νερού 280 K, 300 K and 320 K αντίστοιχα. Οι καμπύλες a, b και c αντιπροσωπεύουν ροή μάζας 0.0003, 0.001 and 0.015 kg/s, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.14 : Θερμική παραγωγή σαν συνάρτηση του W/D.

Όσον αναφορά την ηλεκτρική απόδοση η ροή μάζας είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες (ο άλλος είναι η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού).

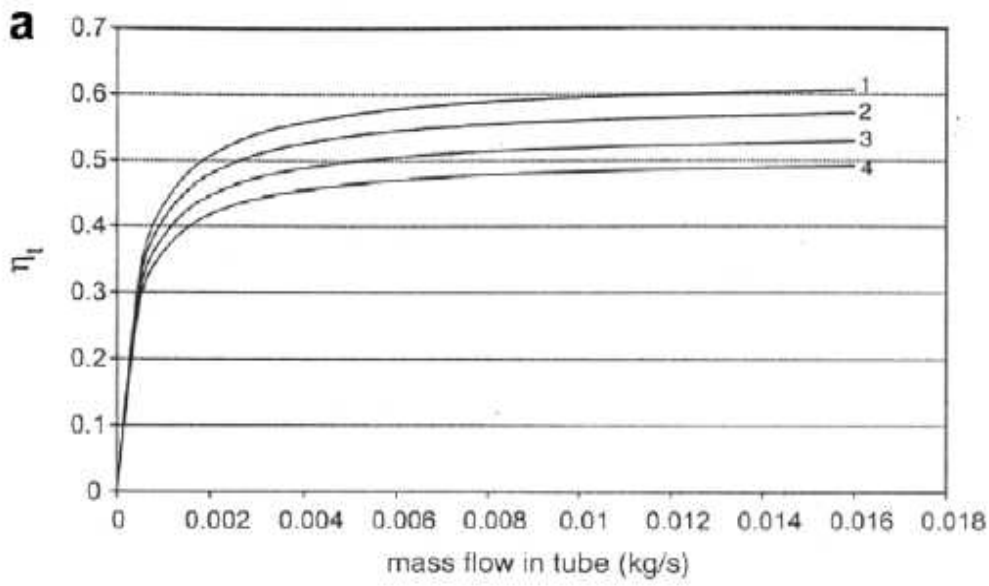


Σχήμα 4.15 : Ηλεκτρική παραγωγή σαν συνάρτηση του W/D.

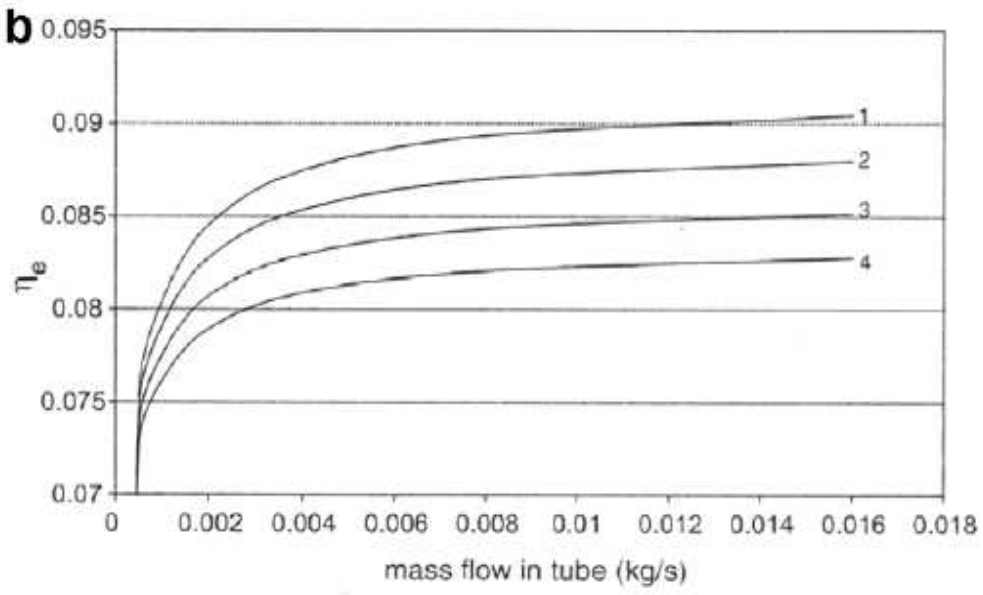
Επιπλέον όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα σε μικρές ροές μάζας η ηλεκτρική απόδοση αυξάνεται με αύξηση του W/D ενώ σε μεγάλες ροές μάζας συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο.

Ο Chow [63] αναφέρει ότι καθώς η ροή μάζας μέσα στο σωλήνα πηγαίνει από 0.002 σε 0.016 kg/s, για επιφάνεια 2 m^2 ΦΒ/Θ συλλέκτη (0.001–0.008 kg/s m^2) η θερμική και η ηλεκτρική απόδοση αυξάνονται.

Στα σχήματα φαίνεται η θερμική και ηλεκτρική απόδοση σαν συνάρτηση της ροής μάζας για διάφορες θερμικές αγωγιμότητες της απορροφητικής πλάκας με του σωλήνες. Η καμπύλη 1 έχει 10,000 W/m K (καλύτερη δυνατή αγωγιμότητα), καμπύλη 2: 100 W/m K, καμπύλη 3: 45W/m K, καμπύλη 4: 25W/m K (χειρότερη αγωγιμότητα)



Σχήμα 4.16 : Θερμική παραγωγή σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου .

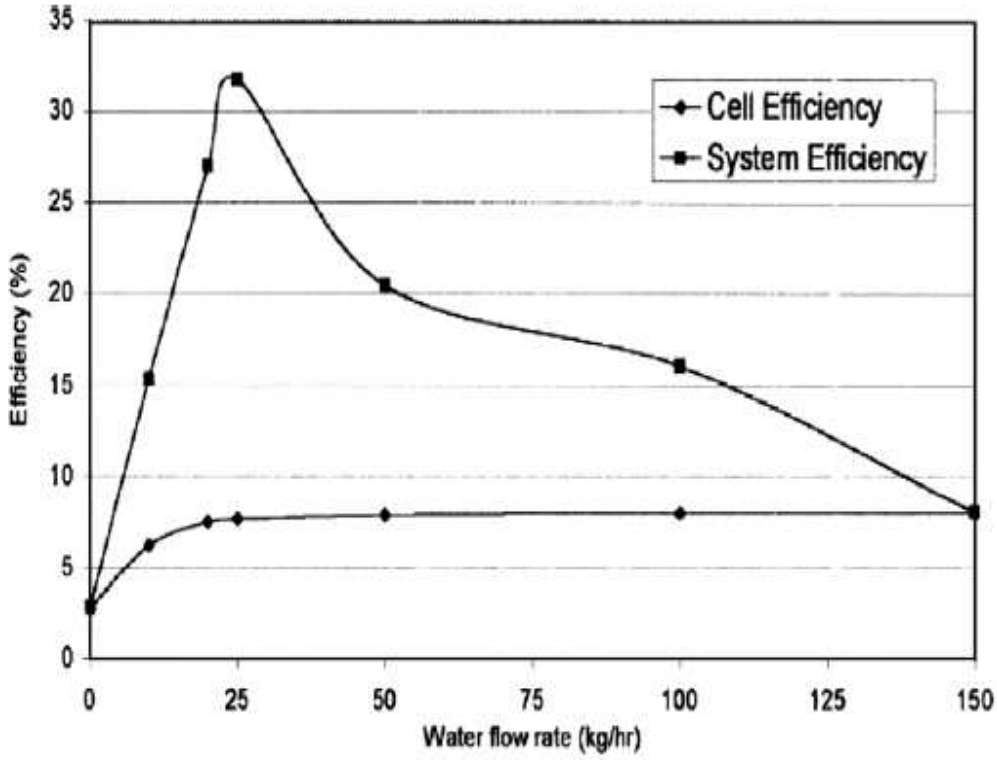


Σχήμα 4.17 : Ηλεκτρική παραγωγή σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου .

Ο Garg και ο Agarwal [19] εξομοίωσαν για διαφορετικά μεγέθη επιφανειών κελιών, ροής μάζας λύνοντας τις αντιπροσωπευτικές εξισώσεις. Το σύστημα αποτελείται από ένα ΦΒ/Θ συλλέκτη, μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, μια αντλία και ένα διαφορικό εκλεκτή. Η βέλτιστη ροή μάζας βρέθηκε ότι είναι 0.03 kg/s για επιφάνεια συλλέκτη 2 m^2 (ή 0.015 kg/s m^2), για να έχουμε μέγιστη θερμική απόδοση. Παρόλα αυτά, η ηλεκτρική απόδοση βρέθηκε ότι μειώνεται όταν η ροή μάζας είναι 0.03 kg/s και ήταν ελάχιστη όταν η ηλιακή ακτινοβολία ήταν μέγιστη (λόγω της μέγιστης θερμότητας στον απορροφητή). Η μέση ηλεκτρική απόδοση και η ημερήσια απόδοση του ΦΒ/Θ συστήματος αυξάνεται με την αύξηση της συνολικής ροής μάζας. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι για ροή μάζας 0,07 kg/s η ισχύς της αντλίας είναι 0,176 W και γενικά θεωρείται πολύ μικρή.

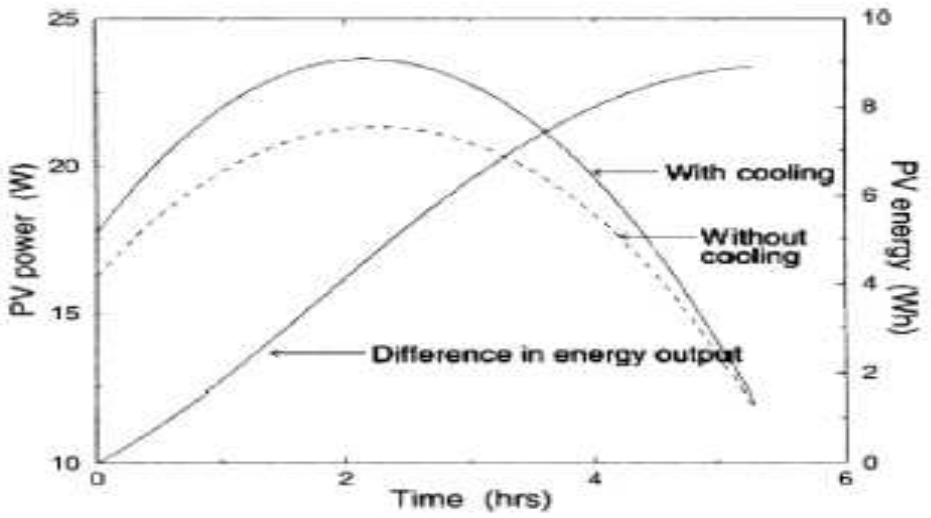
Ο Morita και οι συνεργάτες του [64] πραγματοποίησαν μια αριθμητική ανάλυση, καθορίζοντας τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας χρησιμοποιώντας την αξιολόγηση μέσω της εξέργειας για συλλέκτη με μονό κάλυμμα και χωρίς κάλυμμα. Ανάπτυξαν σχέσεις ενεργειακής ισορροπίας βασισμένες σε αναλυτικά μοντέλα των ΦΒ/Θ [26]. Η ροή μάζας σε μέγιστη απόδοση εξέργεια για μονού γυάλινου καλύμματος και για συλλέκτη ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα είναι 0.0014 και 0.0049 kg/s αντίστοιχα. Η επιφάνεια του ΦΒ/Θ συλλέκτη ήταν 0,61 m^2 (ή 0.002 and 0.008 kg/s m^2 αντίστοιχα).

Στην εξομοίωση που έκανε ο Kalogirou [14] χρησιμοποιώντας TRNSYS, που δημοσιεύτηκε το 2001, αναφέρεται ότι για ένα ΦΒ/Θ σύστημα επιφάνειας 5.1 m^2 η βέλτιστη ροή μάζας ένα 10, 25 l/h (0.007 kg/s) όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.18 : Ηλεκτρική απόδοση σαν συνάρτηση της ροής μάζας του εργαζόμενου μέσου .

Επιπλέον η ετήσια ηλεκτρική απόδοση για ένα ΦΒ/Θ σύστημα που λειτουργεί στην βέλτιστη ροή μάζας (10, 25 l/h) ανέρχεται στο 7,7% παρουσιάζοντας σημαντική αύξηση σε σχέση με το συμβατικό ΦΒ που στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας έχει ετήσια ηλεκτρική απόδοση 2.8%. Από την άλλη μεριά ο Sandnes και ο Rekstad [16] ανάφερα όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.19 μια βελτίωση της ηλεκτρικής απόδοσης σαν αποτέλεσμα της ψύξης των κελιών που ανήλθε στα 8,8%.



Σχήμα 4.19 : Εξομοίωση παραγωγής φωτοβολταϊκού με και χωρίς ψύξη.

4.5.3 Γεωμετρία και διαστασεις του συλλέκτη απορρόφησης

Οι ερευνητές Bergene και Lovvik [62] ασχολήθηκαν με την επίδραση της απόστασης μεταξύ των σωλήνων και την αναλογία διαμέτρου (W/D) και αναφέρουν τα ακόλουθα.

- Η θερμική απόδοση πέφτει σχεδόν στο μισό όταν ο λόγος (W/D) αυξηθεί από το 1 στο 10 κρατώντας το W σταθερό. Δεν αναμένεται να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα όταν αυξηθεί το W και κρατηθεί σταθερό το D.
- Αύξηση του (W/D) από 1στο 10 έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας εξόδου του εργαζόμενου μέσου.
  Παρότι η ηλεκτρική απόδοση δεν επηρεάζεται από το μήκος του ελάσματος δεν συμβαίνει το ίδιο και με τη συνολική απόδοση (αυτή επηρεάζεται).
- Σε σχέση με τη μελέτη βελτίωσης της θερμικής απόδοσης υπάρχει σημαντική εξάρτηση του κόστους υλικού (όπως αυτού του σωλήνα) και πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

4.5.4 Θερμική αγωγιμότητα του απορροφητή με το ρευστό

Όπως ο Florschuetz [24] ανάφερε στην αναλυτική του δουλειά, ότι αρκετά μεγάλες τιμές της θερμικής αγωγιμότητας του απορροφητή με το ρευστό Uf , δεν απαιτούνται από τον παράγοντα θερμικής απομάκρυνσης ώστε να είναι λογικές οι τιμές του, ειδικά για συλλέκτες με τουλάχιστον ένα κάλυμμα. Για να αποφευχθούν μεγάλα κόστη για μικρές βελτιώσεις της απόδοσης παράμετροι όπως το κόστος των υλικών και πτώση πίεσης πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη όταν πρόκειται για εφαρμογή σχεδιαστικών διαδικασιών.

Ο Chow [63] όπως φαίνεται και στα σχήματα 4.16, 4.17 επεξεργάζεται δύο κατασκευαστικά ελαττώματα που βρέθηκαν σε ΦΒ/Θ συλλέκτες α)ατελής συγκόλληση ανάμεσα στο ΦΒ και στο επίπεδο συλλέκτη και τις σωλήνες ,β) ατελή δέσιμο μεταξύ του επίπεδου συλλέκτη και των σωλήνων).

4.5.5 Επίδραση ανάλογα με το σχέδιο

Ο Zondag και οι συνεργάτες του σύγκρινε την απόδοση εφτά διαφορετικών συστημάτων ΦΒ/Θ, όπου τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Panel type	Thermal efficiency	Electrical efficiency
PV panel	–	0.097
Sheet and tube PV/T, no cover	0.52	0.097
Sheet and tube PV/T, 1 cover	0.58	0.089
Sheet and tube PV/T, 2 covers	0.58	0.081
PV/T collector with cannel above PV	0.65	0.084
PV/T collector with cannel below opaque PV	0.60	0.090
PV/T collector with cannel below transparent PV	0.63	0.090
Free flow PV/T collector	0.64	0.086
Two-absorber PV/T collector (insulated type)	0.66	0.085
Two-absorber PV/T collector (noninsulated type)	0.65	0.084
Thermal collector	0.83	–

Πίνακας 4.1 : Τιμές θερμικών και ηλεκτρικών αποδόσεων διαφόρων σχεδιαστικών τύπων ΦΒ/Θ συσκευών.

Από τα αποτελέσματα παρατηρούνται τα εξής :

- Όλα τα σχέδια των καναλιών (όπως παρουσιάστηκαν σε πιο πάνω ενότητα) έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη απόδοση από τους επίπεδους απορροφητές λόγω των καλύτερων χαρακτηριστικών των καναλιών όσον αναφορά την μεταφορά θερμότητας (σχήματα 4.12, 4.13).

- Στην περίπτωση της ελεύθερης ροής η εξάτμιση μειώνει την θερμική απόδοση και η συμπύκνωση στο πάνω μέρος του γυάλινου καλύμματος προκαλεί επιπλέον αντανακλάσεις.

- Εφόσον ο επίπεδος απορροφητής είναι ο ευκολότερος να σχεδιαστεί (και έχει μόνο 2% μικρότερη απόδοση από τα σχέδια με τα κανάλια) αποδείχτηκε ο πιο ελπιδοφόρος από αυτά που εξετάστηκαν.

4.5.6 Επίδραση από τον τύπο του κελιού

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των Φ/Β κελιών, είναι το Πυρίτιο (Si). Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη πλούσιο παρελθόν 34 δεκαετιών οπότε οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε το αντίκτυπο που έχει η θερμοκρασία στους κύριους τύπους του πυριτίου που είναι το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (cSi) , το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (mcSi) και το άμορφο πυρίτιο (aSi) [11].

Η θερμοκρασία των ΦΒ συστημάτων αυξάνει από την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία που δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό επιδρώντας αρνητικά στο βαθμό απόδοσης. Στα μονοκρυσταλλικά κελιά πυριτίου (cSi) και στα πολυκρυσταλλικά κελιά πυριτίου (mcSi) η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά περισσότερο από τα αντίστοιχα κελιά άμορφου πυριτίου. Για τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου (cSi) και πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mcSi) για κάθε ένα βαθμό που αυξάνει η θερμοκρασία ο βαθμός απόδοσης πέφτει κατά περίπου 0,45% (δηλαδή 0,45÷0,50%/K), ενώ για τα κελιά άμορφου πυριτίου (aSi) είναι περίπου 0,25% (0,25%/K) [58,65].

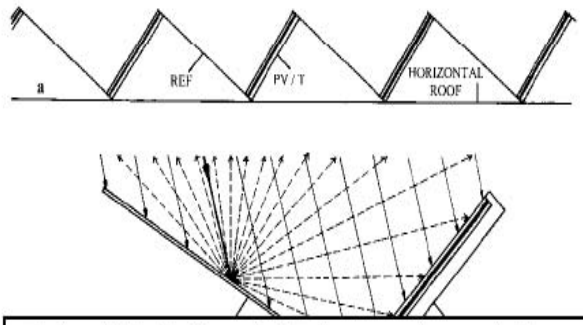
Ο Κλογίρου και ο Τρυπαναγνωστόπουλος [65] κάνοντας πειράματα πάνω σε ένα σύστημα με κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mcSi) και ένα με κελιά άμορφου πυριτίου (aSi) διαπίστωσαν ότι τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mcSi) χρησιμοποιούμενα σε ΦΒ/Θ συστήματα δίνουν μεγαλύτερη συνολική ενέργεια συγκρινόμενα με αυτά άμορφου πυριτίου (aSi). Παρόλα αυτά τα κελιά άμορφου πυριτίου (aSi) έχουν μικρότερη ηλεκτρική απόδοση και μεγαλύτερη θερμική απόδοση (μεγαλύτερη ηλιακή συνεισφορά στην θέρμανση του νερού) από ότι τα πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mcSi).

4.5.7 Επίδραση από τα συστήματα συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Με τη χρήση των συστημάτων συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούμε να αυξήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των ΦΒ/Θ συστημάτων και έτσι εξισορροπείται η μείωση της ηλεκτρικής παραγωγής λόγω των οπτικών απωλειών από την πρόσθετη τοποθέτηση των γυάλινων καλυμμάτων.

Οι διάχυτοι ανακλαστήρες είναι οι πιο διαδεδομένη από όλα τα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Αυτοί τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ακουμπούν στο πάνω μέρος των ΦΒ/Θ συσκευών της μίας σειράς και στο κάτω μέρος των ΦΒ/Θ συσκευών της πίσω σειράς. Με την διάταξη αυτή η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα ΦΒ



Σχήμα 4.20 : Συνδυασμός ΦΒ/Θ συσκευών με επίπεδους διάχυτους ανακλαστήρες σε διάταξη οριζόντιας οροφής κτιρίου.

πλαίσια είναι αυξημένη όλο το έτος και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας της εγκατάστασης. Οι διάχυτοι ανακλαστήρες προτείνονται αντί των συνηθισμένων κατοπτρικών επιφανειών επειδή εξασφαλίζουν μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων και κατά συνέπεια αποφεύγεται η μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης τους λόγω της διαφορετικής έντασης φωτός στην επιφάνεια τους [14,13,17]. Ο Τσελέπη και ο Τρυπαναγνωτόπουλου [12] εξέτασαν σε μια από τις μελέτες τους την επίδραση των διάχυτων ανακλαστήρων, όπου και επιβεβαιώθηκε η αύξηση της συνολικής απόδοσης των ΦΒ/Θ συστημάτων με την χρήση αυτών.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι τα πιο συχνά παρατηρούμενα συστήματα στη βιβλιογραφία που εξετάστηκαν πειραματικά για τον προσδιορισμό της απόδοσης τους (θερμική και ηλεκτρική) καθώς της οικονομικής τους βιωσιμότητας είναι τα ακόλουθα :

- ΦΒ/Θ σύστημα νερού χωρία κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με διάχυτο ανακλαστήρα και με γυάλινο κάλυμμα.

Τα συστήματα αυτά δοκιμάστηκαν κατά περίπτωση για διάφορους τύπους ηλιακών κελιών [65,58,59,12,14,13,63].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο
"ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ"

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα μπορεί να θεωρηθούν κατάλληλα για εγκαταστάσεις σε κτήρια που έχουν ανάγκη τόσο σε ηλεκτρισμό όσο και σε θερμότητα (κατοικίες, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, βιομηχανίες). Για τον προσδιορισμό της πρακτικής αξίας των διαφόρων ΦΒ/Θ συστημάτων είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ενεργειακής τους παραγωγή, και της βέλτιστης σχεδίασης των συστημάτων ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες της κάθε εφαρμογής αλλά και η κατασκευή τους να είναι οικονομικά συμφέρουσα τηρουμένων των αναλογιών. Η εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής μπορεί να γίνει με εμπειρικές σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα, με διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για διάφορα κομμάτια των ΦΒ συστημάτων και με διάφορα προγράμματα εξομοίωσης.

Τα προγράμματα εξομοίωσης που διατίθενται σήμερα στην αγορά είναι πολλά. Ορισμένα εξ'αυτών τα οποία είναι σήμερα διαθέσιμα είναι τα εξής : PVfchart, SOLCEL, PVSYST, PVSIM, PVFORM, TRNSYS, PVNet. Αυτά τα προγράμματα εξομοίωσης είναι πολύ χρήσιμα διότι κάνουν λεπτομερειακή ανάλυση της απόδοσης των συστημάτων υπό ρεαλιστικές συνθήκες, εξετάζουν την επίδραση διαφορετικών φορτίων, επαληθεύουν το μέγεθος του κάθε συστήματος, υποδεικνύουν το βέλτιστο μέγεθος των εξαρτημάτων των ΦΒ/Θ συστημάτων, αποφαίνονται για την βιωσιμότητα ενός συστήματος ΦΒ/Θ όσον αναφορά την παραγωγικότητα του και το χρόνο απόσβεσης [67].

Ανάλογα με την εφαρμογή, την ικανότητα προγραμματισμού, και τις παραμέτρους που εξετάζονται ο ερευνητής μπορεί να επιλέξει αυτό που ταιριάζει καλυτέρα στη μελέτη που θέλει να κάνει και στα αποτελέσματα που θέλει να βγάλει.

Για τις ανάγκες αυτής του πονήματος αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί κάποιο πρόγραμμα εξομοίωσης αλλά κάποιες πειραματικές σχέσεις. Ο λόγος που επέβαλε την μην χρησιμοποίηση ενός προγράμματος εξομοίωσης ήταν η έλλειψη χρόνου και της δυσκολίας χρήσης τέτοιων προγραμμάτων. Έτσι η αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων του παρόν πονήματος (από τις πειραματικές σχέσεις) με τα αποτελέσματα από κάποιο πρόγραμμα εξομοίωσης αποτελεί ερευνητικό πεδίο για κάποια μελλοντική εργασία. Στο παρόν πόνημα θα γίνει σύγκριση των διαφόρων ΦΒ/Θ συσκευών με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στην βιβλιογραφία. Δηλαδή ΦΒ/Θ συστήματα με και χωρίς κάλυμμα, με και χωρίς διάχυτο ανακλαστήρα για δύο τύπους ημιαγωγών (άμορφου και πολυκυσταλλικού πυριτίου) c ☐

5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Ένας ΦΒ/Θ συλλέκτης βασικά συνδυάζει τις λειτουργίες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη και τις λειτουργίες ενός φωτοβολταϊκού πανέλου[42].

<u>Η θεωρία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη</u>

Η θερμική απόδοση (n_{th}) συμβατικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_{th} = Q_u / G \qquad \text{σχέση 1}$$

Όπου η χρήσιμη συλλεγμένη θερμότητα (Qu) δίνεται από τη σχέση:

$$Qu = m \; x \; C\text{px}(To - Ti) \qquad \text{σχέση 2}$$

Οπότε από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει ότι:

$$n_{th} = \frac{m \; \text{x} C_p \; \text{x}(T_o - T_i)}{A_c \; \text{x} \; G} \qquad \text{σχέση 3}$$

Όπου Ti είναι η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, To είναι η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, m η ροή μάζας του ρευστού, A_c είναι η επιφάνεια του συλλέκτη, C_p η ειδική θερμότητα και G η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Εναλλακτικά η σχέση της συλλεγμένης θερμότητας (Qu) δίνεται σαν η διαφορά ανάμεσα στην απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία και την απώλεια θερμότητας.

$$Q_u = A_c \; \text{x} \; [S - U_L \; \text{x} \; (T_{pm} - T_a)] \qquad \text{σχέση 4}$$

Η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα T_{pm} στην εξίσωση (4) είναι

δύσκολο να μετρηθεί ή να υπολογισθεί καθώς είναι εξαρτώμενη από τον τύπο του συλλέκτη, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού. Για αυτό το λόγο η σχέση αυτή μετατράπηκε στην ακόλουθη σχέση.

$$Q_u = A_c \times F_R \times [S - U_L \times (T_i - T_a)] \qquad \text{σχέση 5}$$

Όπου F_R είναι ο παράγοντας απολαβής και δίνεται από τη σχέση:

$$F_R = \frac{m \times C_p}{A_c \times U_L} \cdot \left[1 - e^{-\frac{A_c \cdot U_L \cdot F}{m \cdot C_p}}\right] \qquad \text{σχέση 6}$$

Στην εξίσωση (6) όπου F′ είναι ο παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη και δίνεται από τη σχέση:

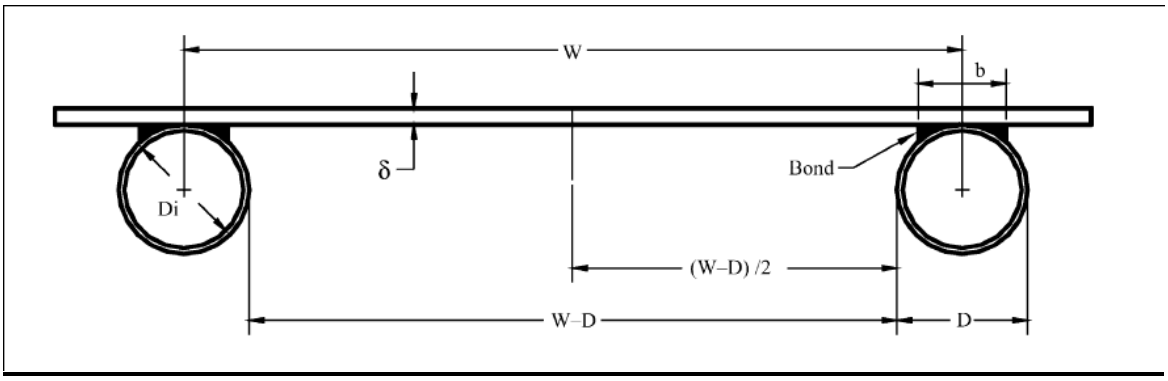
$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \cdot \left[\frac{1}{U_L[D_o + (W - D_o) \times F]} + \frac{1}{U_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}}\right]} \qquad \text{σχέση 7}$$

Ο παράγοντας απόδοσης του πτερυγίου δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\tanh(x)}{x} \quad \text{ενώ το x δίνεται από τη σχέση } x = \sqrt{\frac{U_L}{k \times \delta}} \times \left(\frac{W - D_o}{2}\right)$$

$$\text{και } D_o = D_i + t$$

Όπου D_i είναι η διάμετρος των σωλήνων, W είναι η απόσταση μεταξύ των σωλήνων και δ είναι το πάχος του ελάσματος όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 : Διαστάσεις επίπεδου συλλέκτη.

<u>Θεωρία των φωτοβολταϊκών</u>

Η ηλεκτρική απόδοση (n_{el}) ενός ΦΒ συστήματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_{el} = \frac{I_m \times V_m}{G \times A_c} \qquad \text{σχέση 8}$$

Όπου I_m , V_m το ρεύμα και η τάση για τη συνθήκη λειτουργίας του ΦΒ στο σημείο μέγιστής ισχύος.
Όπως έχει αναφερθεί η απόδοση ενός ΦΒ συστήματος περιορίζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτή η εξάρτηση της θερμοκρασίας στον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης δίνεται από τη σχέση του Zondag [59].

$$n_{el} = n_o \times [1-\beta \times (T- 25)] \qquad \text{σχέση 9}$$

Όπου β είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας και είναι περίπου ($\beta=0,0045C^{-1}$) ενώ T είναι η θερμοκρασία των κελιών και n_o είναι ο βαθμός αναφοράς.

5.3 ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ

Ο υπολογισμός των βαθμών απόδοσης έγινε από τις πειραματικές σχέσεις που διατύπωσε ο Τρυπαναγνωστόπουλος και παρουσιάστηκαν στις δημοσιεύσεις [12,13].
Αυτοί οι θερμικοί (n_{th}) και ηλεκτρικοί (n_{el}) βαθμοί απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από πειραματικές δοκιμές των ΦΒ/Θ συσκευών σε εξωτερικές φυσικές συνθήκες. Η παρουσίαση στους παρακάτω πίνακες γίνεται ανά

τύπο ημιαγωγού (άμορφου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου) για τις τέσσερις διατάξεις.

$(Pc-Si)$	
ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα	$n_{el}=0.1659-0,00094 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0.55-11.99 \text{ x } \left(\frac{\Delta T}{G}\right)$
ΦΒ/Θ με κάλυμμα	$n_{el}=0,1457-0,00094 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,71-9,04 \text{ x } \left(\frac{\Delta T}{G}\right)$
ΦΒ/Θ με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα	$n_{el}=0,5160-0,00099 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,78-9,67 \text{ x } \left(\frac{\Delta T}{G}\right)$
ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα	$n_{el}=0,1773-0,00098 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,61-11,74 \text{ x } \left(\frac{\Delta T}{G}\right)$

Πίνακας 5.1 : Βαθμοί απόδοσης από πειραματικές μετρήσεις για ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

$(a-Si)$	
ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα	$n_{el}=0.1601-0,00011 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0.60-12,02 \text{ x } (\frac{\Delta T}{G})$
ΦΒ/Θ με κάλυμμα	$n_{el}=0,0485-0,00011 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,73-8,24 \text{ x } (\frac{\Delta T}{G})$
ΦΒ/Θ με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα	$n_{el}=0,0565-0,00015 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,82-8,41 \text{ x } (\frac{\Delta T}{G})$
ΦΒ/Θ χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα	$n_{el}=0,0698-0,00014 \text{ x } (T_{PV})_{eff}$
	$n_h=0,68-11,98 \text{ x } (\frac{\Delta T}{G})$

Πίνακας 5.2 : Βαθμοί απόδοσης από πειραματικές μετρήσεις για ημιαγωγούς άμορφου πυριτίου.

Η θερμική απόδοση των πειραματικών ΦΒ/Θ συστημάτων δίνεται σαν συνάρτηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας G, την θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού T_i και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a .Δηλαδή:

$$\Delta T \qquad (T_i - T_a)$$

$$\frac{\text{--------}}{G} = \frac{\text{----------}}{G} .$$

Η ηλεκτρική απόδοση των ΦΒ/Θ μοντέλων δίνεται σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας λειτουργίας (T_{PV}).
Όπου η θερμοκρασία των κελιών δίνεται από την ακόλουθη σχέση εάν πρόκειται για πολυκρυσταλλικού πυριτίου κελιά (Pc–Si) σχέση [66]:

$$T_{PV} = 30{,}0006 + 0{,}0175 \times (G - 300) + 1{,}14 \times (T_a - 25) \quad \text{σχέση 10}$$

Για τα συστήματα άμορφου πυριτίου (a–Si) η χαμηλότερη ηλεκτρική τους απόδοση έχει σαν αποτέλεσμα την ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία του ΦΒ [66]. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται η σχέση:

$$T_{PV} = 30 + 0{,}0175 \times (G - 150) + 1{,}14 \times (T_a - 25) \quad \text{σχέση 11}$$

Ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται διάχυτοι ανακλαστήρες τότε η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής [66]:

$$T_{PV} = 30{,}0006 + 0{,}0175 \times [(G \times CR) - 300] + 1{,}14 \times (T_a - 25)$$

σχέση 12

Όπου CR είναι ο λόγος συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
Στην περίπτωση των συστημάτων που εξετάζουμε εμείς (ΦΒ/Θ), η θερμοκρασία των ΦΒ εξαρτάται και από τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος. Στα συστήματα ΦΒ/Θ, η ηλεκτρική απόδοση είναι συνάρτηση της $(T_{PV})_{eff}$, όπου συνδέει τη θερμοκρασία του ΦΒ στις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(T_{PV})_{eff} = T_{PV} + (T_{PV/T} - T_a) \quad \text{σχέση 13}$$

Η θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ/Θ συστήματος και της $T_{PV/T}$ θερμικής μονάδας είναι ίσο κατά προσέγγιση (όμως με ακρίβεια) σαν την μέση θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού.

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για τον υπολογισμό των βαθμών αποδόσεων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην μελετώμενη επιφάνεια. Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας έγινε χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που προέκυψαν με στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων του Αστεροσκοπείου Αθηνών και παρουσιάζονται από τον Αντωνόπουλο [68].

Για την μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη σχέση (σε KWh / m^2).

$$H_T = c0 + c1 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} * D\right) + c2 * \cos\left(2 * \frac{360}{365} D\right) + c3 * \sin\left(\frac{360}{365} D\right) + c4 * \sin\left(2 * \frac{360}{365}\right)$$

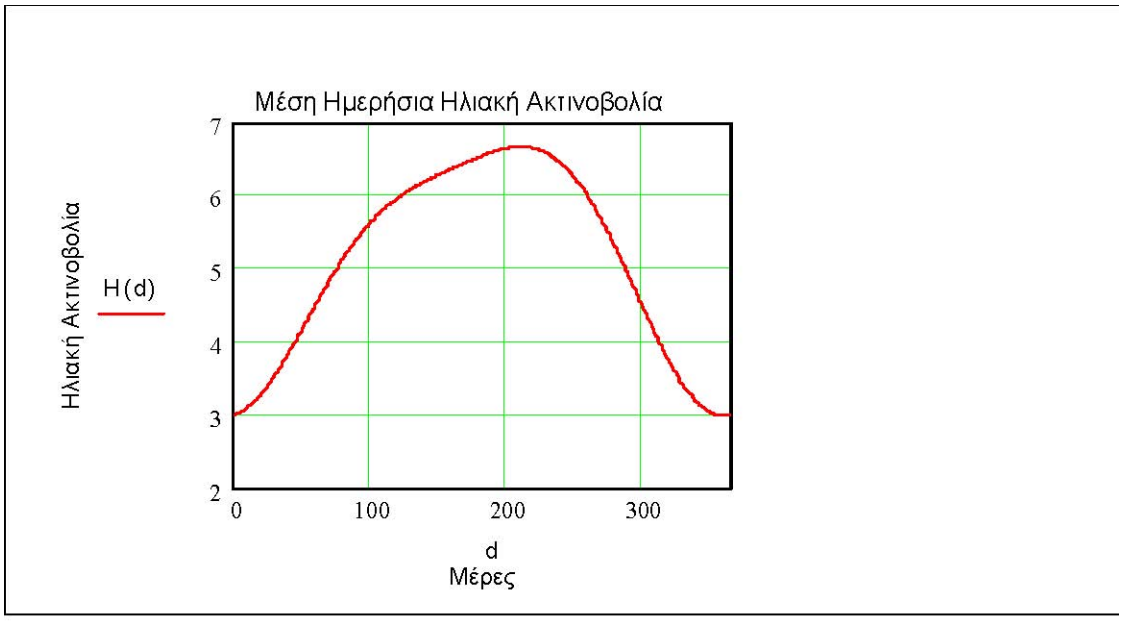
σχέση 14

Όπου D=1÷365 (για κάθε μέρα) ενώ οι συντελεστές 0 c , 1 c , 2 c , 3 c , 4 c ,δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

AZIMUTH	SLOP	*c0*	*c1*	*c2*	*c3*	*c4*
	0	4,348	2,667	0,027	0,213	0,105
	15	4,842	2,493	0,140	0,133	0,129
0o (SOUTH)	30	5,126	2,203	0,254	0,045	0,158
	45	5,119	1,774	0,348	0,038	0,185
	60	4,817	1,251	0,411	0,115	0,178
	75	4,282	0,727	0,454	0,183	0,186
	90	3,627	0,264	0,444	0,218	0,166

Πίνακας 5.3 : Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης 14.

Με τη χρήση του προγράμματος MathCad υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές της ακτινοβολίας από τη σχέση (14) και προστέθηκαν ώστε να πάρουμε τις μέσες τιμές της μηνιαίας ακτινοβολίας. Οι υπολογισμοί έγιναν θεωρώντας περιοχή εγκατάστασης την Αθήνα (αζιμούθιο επιφανείας γ=0^o) ενώ η κλίση των συσκευών είναι στις 45^o . Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας θα μπορούσαν να βρεθεί από τα αρχεία του αστεροσκοπείου Αθηνών χρησιμοποιώντας τα στατιστικά στοιχεία παρελθόντων ετών. Όμως επιλέχθηκε ο υπολογισμών της ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να παρουσιαστούν τα υπολογιστικά μοντέλα. Από τους υπολογισμούς προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Ενώ η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά ημέρα φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.2 : Γραφική παράσταση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας.

ΜΗΝΑΣ	Ηλιακ.Ακτινοβ. (KWh/m^2)
Ιανουάριος	100,8
Φεβρουάριος	116,6
Μάρτιος	155,1
Απρίλιος	172,2
Μάιος	190,9
Ιούνιος	192,9
Ιούλιος	205,7
Αύγουστος	203,0
Σεπτέμβριος	179,0
Οκτώβριος	150,0
Νοέμβριος	111,0
Δεκέμβριος	91,0

Πίνακας 5.4 : Αποτελέσματα μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας όπως αυτά προέκυψαν από τις πειραματικές σχέσεις.

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η ετήσια ακτινοβολία είναι ίση με:

$$G=1869 KWh/m^2$$

5.5 ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΦΒ/Θ ΣΥΣΚΕΥΗ

Για την εκτίμηση της πρακτικής αξίας των ΦΒ/Θ συσκευών που παρουσιάζονται στο παρόν πόνημα είναι χρήσιμος ο υπολογισμός της ενεργειακής απολαβής τους ώστε να είναι δυνατή η οικονομική τους θεώρηση και η σύγκριση τους.

Η περίπτωση που εξετάζεται αφορά εγκατάσταση μικρής μονάδας 4 m2 στην περιοχή της Αθήνας με προσανατολισμό στο νότο και κλίση συσκευών 45ο . Το σύστημα περιλαμβάνει τις ΦΒ/Θ συσκευές το δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού όγκου 200lt , το οποίο παραλαμβάνει με φυσική κυκλοφορία του νερού τη θερμότητα που αποδίδουν τα ΦΒ/Θ πλαίσια.

Έχοντας υπολογίσει την ηλιακή ακτινοβολία και με βάση τους εμπειρικούς βαθμούς απόδοσης θα υπολογίσουμε την ενέργεια που παράγονται από τα διάφορα συστήματα.

Τα ετήσια αποτελέσματα αφορούν την αποδιδόμενη για τελική χρήση ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, όπου έχει συμπεριληφθεί μείωση της αποδιδόμενης ενέργειας τόσο στον ηλεκτρισμό (απώλειες αντιστροφέα DC/AC, κ.λ.π) όσο και στην θερμότητα (απώλειες σωλήνων, εναλλάκτη θερμότητας, κ.λ.π) εκτιμώντας μείωση 15% και για τις δύο ενεργειακές μορφές.

5.5.1 Αποτελέσματα για ΦΒ/Θ συστήματα με την χρήση ημιαγωγού πολυκρυσταλλικού τύπου.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των Φ/Β κυψελίδων καθώς η απόδοση του είναι αρκετά ικανοποιητική σε σχέση με την τιμή του. Στα πλαίσια τις παρούσας έρευνας εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά συστήματα ΦΒ/Θ συσκευών με την χρήση ημιαγωγού πολυκρυσταλλικού τύπου. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ΦΒ/Θ σύστημα νερού χωρία κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με διάχυτο ανακλαστήρα και με γυάλινο κάλυμμα.

Οι διάφοροι τύποι των συστημάτων που επιλέχθηκαν να εξεταστούν είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κατά μείζονα λόγο από τους ερευνητές που ασχολούνται

με τα ΦΒ/Θ συστήματα. Για την πληρότητα της παρουσίασης οι υπολογισμοί της ενεργειακής απολαβής κάθε συστήματος συνοδεύονται με γραφήματα.

Ο υπολογισμός της ενεργειακής απολαβής έγινε χρησιμοποιώντας τους πειραματικούς βαθμούς απόδοσης από τον πίνακα 5.1. Για τον υπολογισμό της $(T_{PV})_{eff}$ χρησιμοποιήθηκε η σχέση (13) και για το T_{PV} χρησιμοποιήθηκε η σχέση (10) για τις περιπτώσεις όπου η συσκευή δεν περιλάμβανε διάχυτο ανακλαστήρα και η σχέση (12) και σε αυτή την περίπτωση ο λόγος συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίσος με 1,2 (CR =1,2).

Οι μέσες θερμοκρασίες αέρα και νερού δικτύου βρέθηκαν στη βάση δεδομένων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πινακοποιημένα παρακάτω.

ΜΗΝΑΣ	Ηλιακ. Ακτινοβ KWh/m^2	Μέση Θερμ. αέρα (^oC)	Μέση Θερμ. νερού (^oC)
ΙΑΝ	100,75	10,30	9,30
ΦΕΒ	116,60	10,60	9,40
ΜΑΡ	155,10	12,30	10,00
ΑΠΡ	172,12	15,90	12,20
ΜΑΙ	190,87	20,70	15,30
ΙΟΥΝ	192,87	25,20	18,70
ΙΟΥΛ	205,70	28,00	20,80
ΑΥΓ	203,00	27,80	22,70
ΣΕΠ	179,00	24,20	21,50
ΟΚΤ	150,00	19,50	18,50
ΝΟΕ	111,00	15,40	14,70
ΔΕΚ	91,00	12,00	12,10

Πίνακας 5.5 : Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, μέσης θερμοκρασίας αέρα, και μέση θερμοκρασία νερού δικτύου ανά μήνα.

ΜΗΝΑΣ	ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)		ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)		ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)		ΦΒ/Θ (με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς κάλυμμα)	
	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh
ΙΑΝ	54,0097	229,1685	47,0902	273,9465	50,5585	300,0670	57,7948	248,8715
ΦΕΒ	62,3508	266,9631	54,3426	318,3580	58,3533	348,6795	66,7247	289,7297
ΜΑΡ	82,1888	383,8007	71,5364	445,1066	76,8553	486,9473	87,9750	413,4863
ΑΠΡ	89,5544	472,6930	77,7334	529,2136	83,6007	578,1029	95,9052	504,6599
ΜΑΙ	96,8091	577,0577	83,7003	626,7273	90,1536	683,7205	103,7453	611,4046
ΙΟΥΝ	95,3178	625,6403	82,0717	665,3649	88,5393	725,1903	102,2201	659,4602
ΙΟΥΛ	99,8727	678,1686	85,7455	717,8518	92,6053	782,2300	107,1582	714,0108
ΑΥΓ	97,3794	587,5166	83,4373	646,7956	90,1820	706,0338	104,5189	624,5936
ΣΕΠ	87,0816	444,7982	74,7879	515,0932	80,7611	563,4786	93,4288	479,0192
ΟΚΤ	74,9704	321,2660	64,6684	392,8360	69,7163	430,6780	80,3742	351,0160
ΝΟΕ	57,2719	236,1062	49,6484	289,4692	53,4221	317,3866	61,3471	258,1552
ΔΕΚ	47,9490	166,0934	41,6992	216,6004	44,8141	238,0442	51,3324	184,7424
ΣΥΝΟΛΟ	**944,756**	**4989,27**	**816,462**	**5360,736**	**879,516**	**6160,559**	**1012,525**	**5339,149**

Πίνακας 5.6 : Αποτελέσματα μηνιαίας ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για τις διατάξεις ΦΒ/Θ συσκευών με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

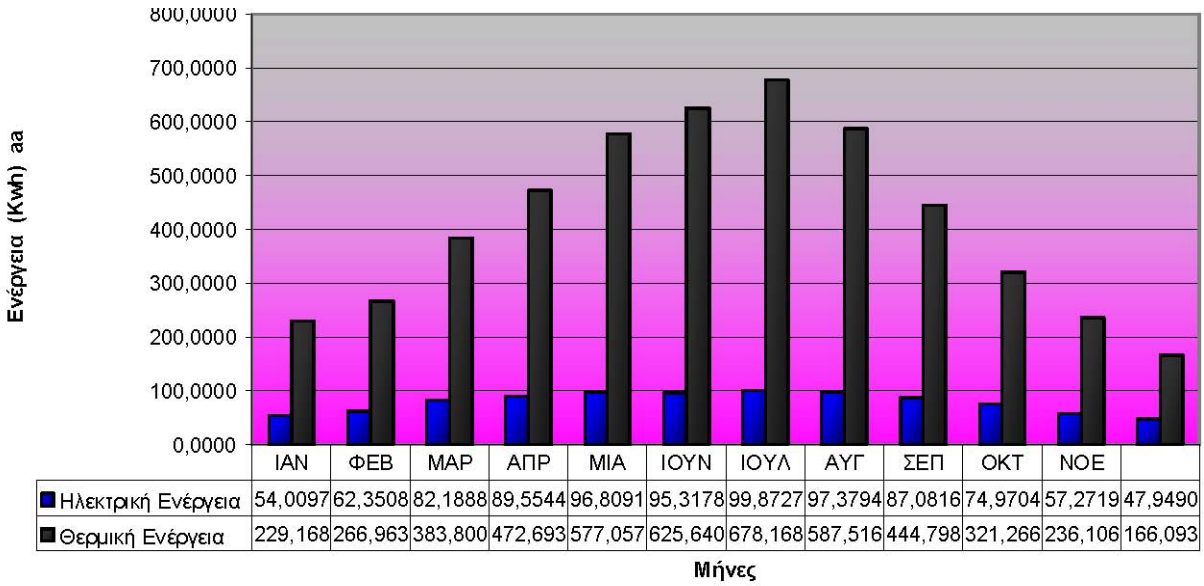
Εξετάζοντας τους διάφορους τύπους των ΦΒ/Θ συστημάτων γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ανάλογα με τον τύπο και τον σχεδιασμό της συσκευής έχουμε διαφορετικές ενεργειακές απολαβές.

Στην περίπτωση της ΦΒ/Θ συσκευής με κάλυμμα βλέπουμε ότι η ετήσια θερμική απολαβή αυξάνεται σχεδόν 8% σε σχέση με την συσκευή χωρίς κάλυμμα. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι με την χρήση του γυάλινου καλύμματος αυξάνεται η θερμοκρασία στον ημιαγωγό και έτσι η θερμική συναλλαγή είναι μεγαλύτερη. Όμως αυτή η αύξηση της θερμοκρασία στον ημιαγωγό επιδρά αρνητικά στον ηλεκτρικό βαθμό απόδοση. Έτσι όπως φαίνεται και από τους υπολογισμούς μας η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια πέφτει (μείωση κατά 16%). Καθώς η προτεραιότητα αυτών των συστημάτων είναι η ηλεκτρική παραγωγή, χρησιμοποιείται ευρέως ο διάχυτος ανακλαστήρας, ο οποίος αυξάνει την ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των ΦΒ/Θ συσκευών και ισορροπεί κατά ένα τρόπο τη μείωση της ηλεκτρικής παραγωγής από την πρόσθετη τοποθέτηση υαλοπινάκων. Από τους υπολογισμούς που κάναμε προέκυψε ότι με τη χρήση του διάχυτου ανακλαστήρα η ετήσια

ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κατά περίπου 7% τόσο για την περίπτωση του γυάλινου καλύμματος όσο και για την περίπτωση χωρίς το γυάλινο κάλυμμα.

Επιπλέον ο διάχυτος ανακλαστήρας επιδρά θετικά και στην ετήσια θερμική ενέργεια. Η αύξηση αυτή ανέρχεται στο 12% στην περίπτωση ΦΒ/Θ συσκεύης με γυάλινο κάλυμμα και στο 7% για την περίπτωση χωρίς γυάλινο κάλυμμα αντίστοιχα.

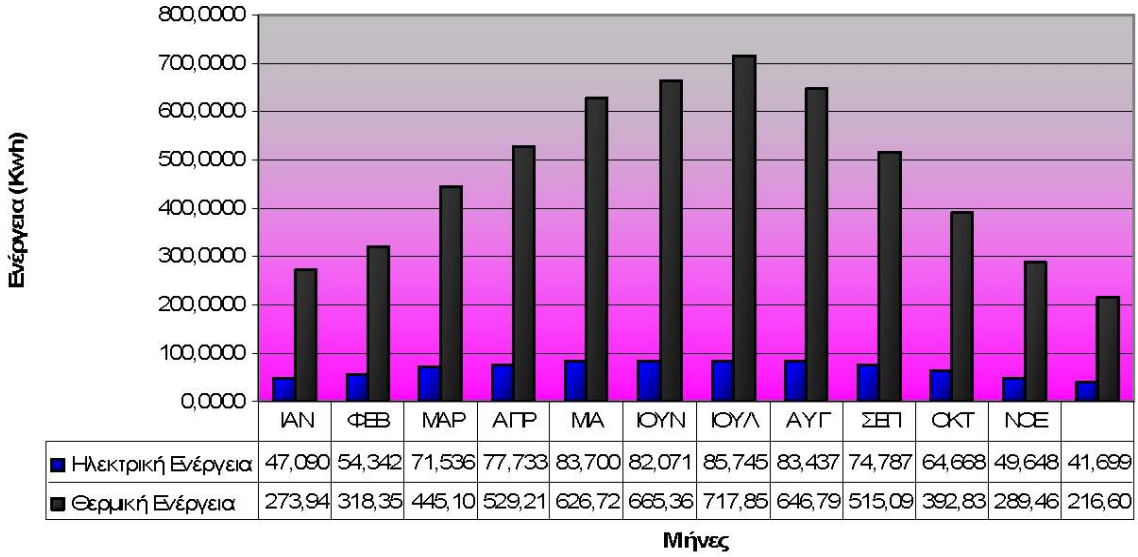
Τέλος κοιτώντας συνολικά την παραγωγικότητα θα λέγαμε ότι τις καλύτερες τιμές φαίνεται να τις έχουν τα ΦΒ/Θ συστήματα με διάχυτο ανακλαστήρα (με και χωρίς κάλυμμα). Ανάλογα με την εφαρμογή και την χρήση του συστήματος μπορεί να επιλεχθεί ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα που δίνει την μεγαλύτερη ετήσια ηλεκτρική ενέργεια από όλα τα συστήματα που εξετάστηκαν ή ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα με κάλυμμα που δίνει την μεγαλύτερη ετήσια θερμική ενέργεια. Επιπλέον αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι το γεγονός ότι για όλα τα συστήματα η θερμική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό γενικά είναι αναμενόμενο αφού κατά κανόνα τα ΦΒ συστήματα έχουν μικρού βαθμού απόδοσης και άρα η περισσότερη ενεργεία από την ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπετε σε θερμότητα. Τα διαγράμματα παρουσιάζονται σαν συνάρτηση της παραγόμενης



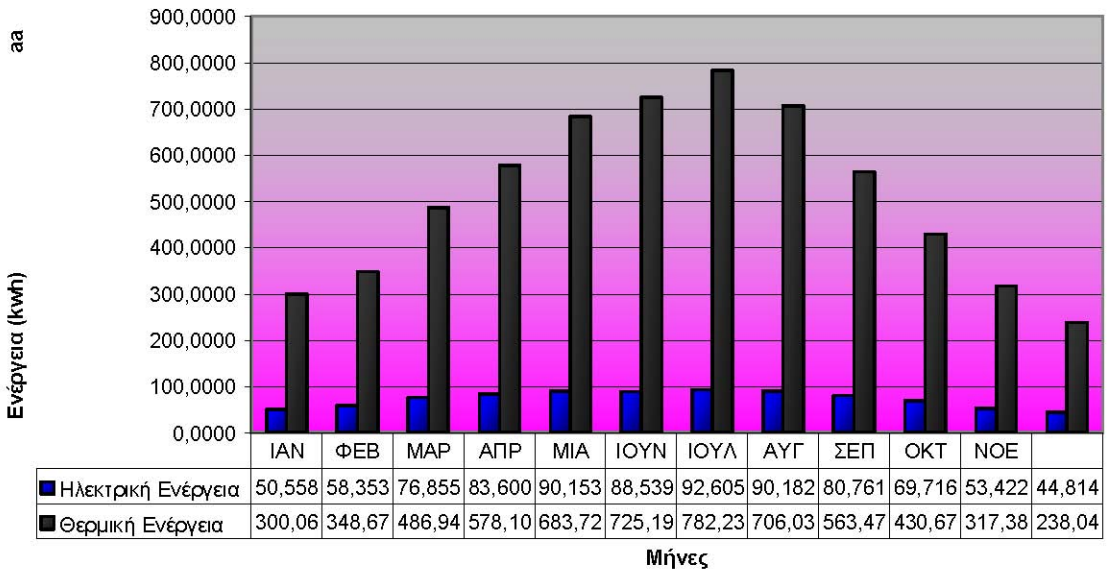
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	
Ηλεκτρική Ενέργεια	54,0097	62,3508	82,1888	89,5544	96,8091	95,3178	99,8727	97,3794	87,0816	74,9704	57,2719	47,9490
Θερμική Ενέργεια	229,168	266,963	383,800	472,693	577,057	625,640	678,168	587,516	444,798	321,266	236,106	166,093

Σχήμα 5.3 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές χωρίς κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

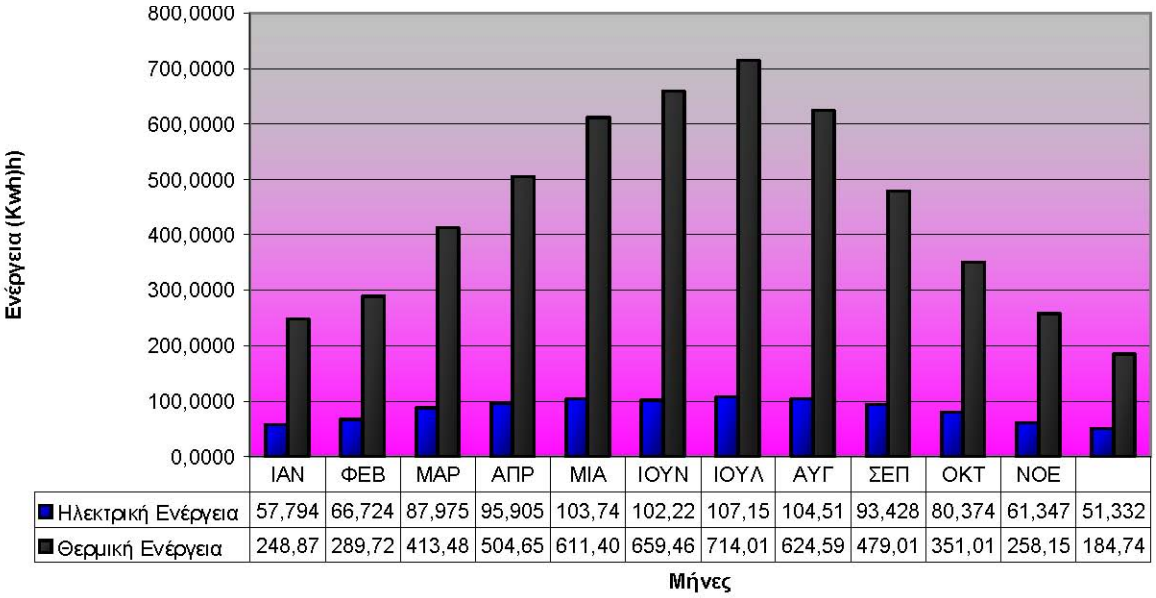
θερμικής και ηλεκτρικής ενέργεια ανά μήνα για κάθε τύπο ΦΒ/Θ συσκευής.



Σχήμα 5.4 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές με κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.



Σχήμα 5.5 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.



Σχήμα 5.6 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

5.5.2 Αποτελέσματα για ΦΒ/Θ συστήματα με την χρήση ημιαγωγού άμορφου τύπου.

Οι ημιαγωγοί άμορφου πυριτίου παρότι έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από αυτούς του μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αναπτυχθεί εξίσου διότι είναι αρκετά πιο φθηνοί όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω.

Ο τρόπος εξέτασης των συστημάτων αυτών είναι παρόμοιος με αυτόν που ακολουθήθηκε και για τους διάφορους τύπους ΦΒ/Θ συσκευών που χρησιμοποιούν ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού τύπου. Έτσι πάλι εξετάζονται τα ακόλουθα συστήματα:

- ΦΒ/Θ σύστημα νερού χωρία κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με διάχυτο ανακλαστήρα και με γυάλινο κάλυμμα.

Η διαφορά εδώ είναι ότι προκειμένου να υπολογιστεί η ενεργειακής απολαβής από τους πειραματικούς βαθμούς απόδοσης του πίνακα 5.2 χρησιμοποιήθηκε η σχέση (11) για τον υπολογισμό της T_{PV}. Ενώ η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της $(T_{PV})_{eff}$ είναι η (13). Η ηλιακή ακτινοβολία, η μέση θερμοκρασία νερού δικτύου και η μέση θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5 (πολυκρυσταλλικού πυριτίου).

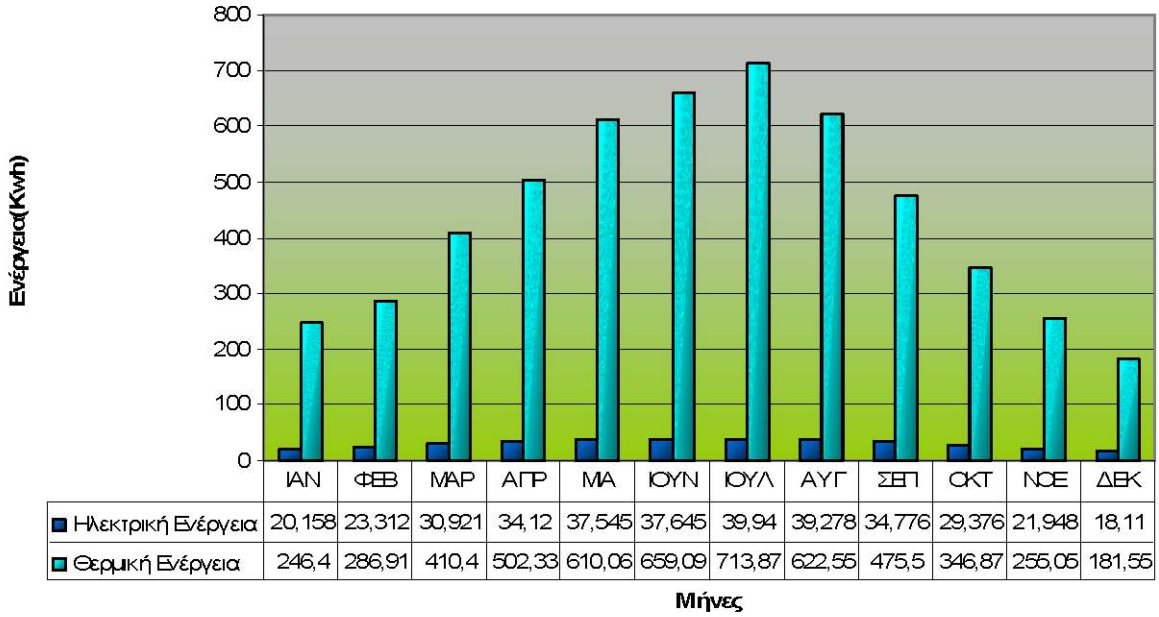
Συνεπώς με παρόμοιο τρόπο προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω.

ΜΗΝΑΣ	ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)		ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)		ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)		ΦΒ/Θ (με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς κάλυμμα)	
	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Kwh
ΙΑΝ	20,1584	246,398	16,1849	278,077	18,7693	309,485	23,3642	273,6660
ΦΕΒ	23,3117	286,907	18,7129	323,022	21,6974	359,396	27,0169	318,4599
ΜΑΡ	30,9212	410,402	24,8040	449,397	28,7420	498,187	35,8258	452,2771
ΑΠΡ	34,1203	502,330	27,3320	530,853	31,6317	585,660	39,5103	548,6429
ΜΑΙ	37,5446	610,055	30,0168	625,018	34,6785	686,544	43,4420	661,2373
ΙΟΥΝ	37,6448	659,090	30,0381	660,799	34,6420	723,574	43,5240	710,6665
ΙΟΥΛ	39,9400	713,871	31,8273	712,255	36,6615	779,360	46,1533	768,8419
ΑΥΓ	39,2778	622,546	31,2715	646,727	35,9919	711,793	45,3719	677,0692
ΣΕΠ	34,7763	475,503	27,7166	519,921	31,9306	576,255	40,1887	523,8244
ΟΚΤ	29,3758	346,868	23,4598	400,316	27,0762	446,794	33,9751	387,5320
ΝΟΕ	21,9480	255,047	17,5702	295,113	20,3226	329,483	25,4087	285,1444
ΔΕΚ	18,1100	181,553	14,5210	223,060	16,8199	250,848	20,9790	206,3188
ΣΥΝΟΛΟ	367,129	5310,56	293,455	5664,56	338,963	6257,38	424,759	5813,681

Πίνακας 5.7 : Αποτελέσματα μηνιαίας ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για τις διατάξεις ΦΒ/Θ συσκευών με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.

Εκ πρώτης όψεως φαίνεται πως τα αποτελέσματα είναι σχεδόν ταυτόσημα με αυτά του ημιαγωγού πολυκρυσταλλικού τύπου. Βλέπουμε ότι στην περίπτωση της ΦΒ/Θ συσκευής με κάλυμμα η ετήσια ηλεκτρική απολαβή σε σχέση με την αντίστοιχη συσκευή χωρίς κάλυμμα πέφτει κατά σχεδόν 25% την ίδια στιγμή που η ετήσια θερμική απολαβή αυξάνεται κατά 7%. Στην περίπτωση των συστημάτων με χρήση διάχυτου ανακλαστήρα για ΦΒ/Θ συσκευή με κάλυμμα η ετήσια ηλεκτρική απολαβή σε σχέση με την συσκευή χωρίς κάλυμμα πέφτει πάλι κατά 25% ενώ την ίδια στιγμή η ετήσια θερμική απολαβή αυξάνεται κατά 8%. Επιπλέον φαίνεται ότι γενικά η προσθήκη του διάχυτου ανακλαστήρα επιδρά θετικά και στην θερμική και στην ηλεκτρική απολαβή. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση της ΦΒ/Θ συσκευής με γυάλινο κάλυμμα η προσθήκη του διάχυτου ανακλαστήρα αύξησε την ετήσια θερμική απολαβή κατά 11% ενώ η ετήσια ηλεκτρική ηλεκτρική απολαβή κατά 16%. Παρατηρείται, ότι και σε αυτή την περίπτωση για όλα τα συστήματα η θερμική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική.

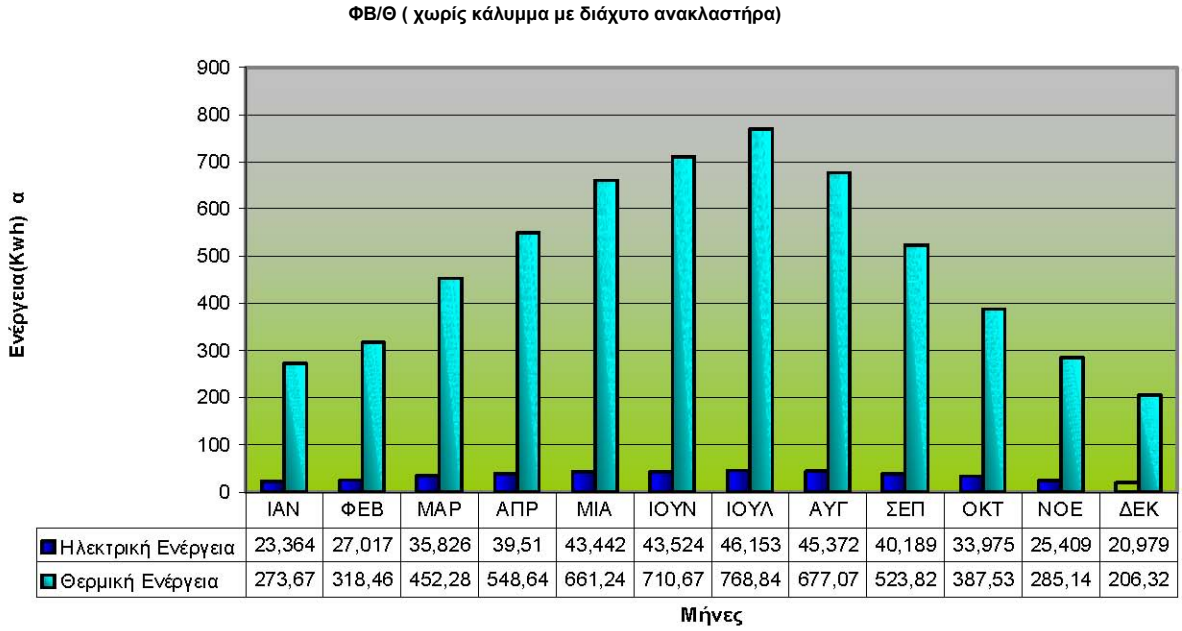
Τα παραπάνω σημεία φαίνονται και στα διαγράμματα που ακολουθούν και παρουσιάζουν την ετήσια θερμική και ηλεκτρική απολαβή ανά μήνα.



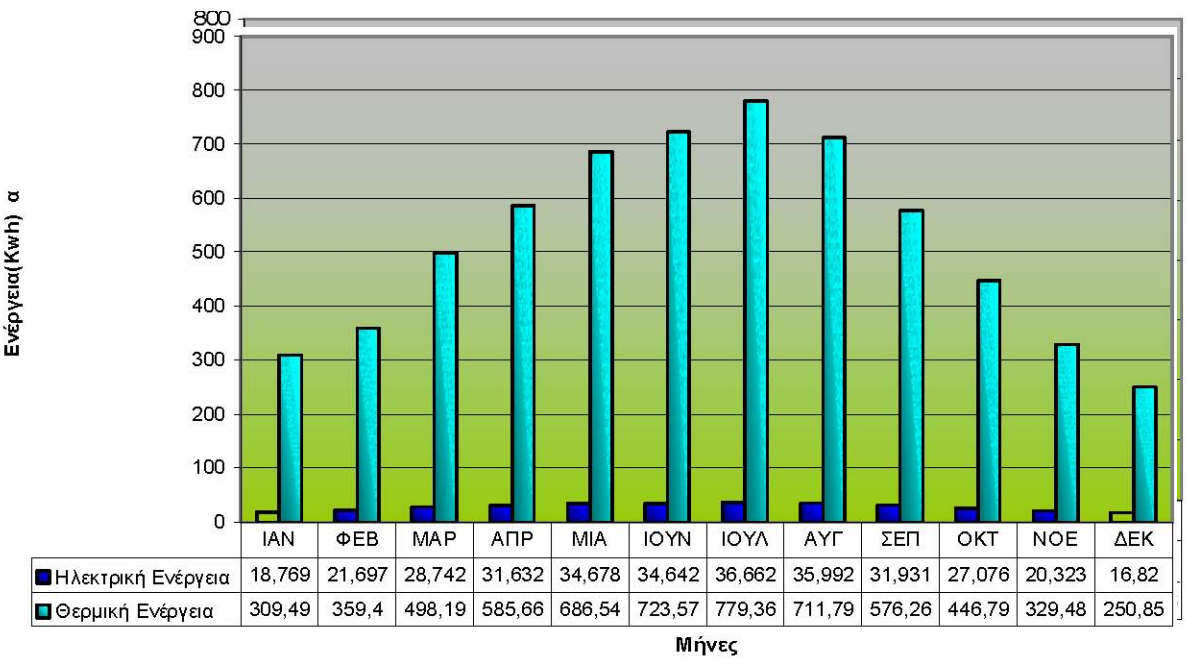
Σχήμα 5.7 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές χωρίς κάλυμμα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.

ΦΒ/Θ (Χωρίς κάλυμμα)

ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)



Σχήμα 5.9 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.



Έχοντας υπολογίσει και αναλύσει τις τιμές της θερμικής και ηλεκτρικής απολαβής για τους διάφορους τύπους των ΦΒ/Θ συσκευών ανά τύπο ημιαγωγού είδαμε πώς επιδρά κάθε τύπος ΦΒ/Θ συσκευής στην ετήσια θερμική απολαβή. Αυτό που έχει αξία να

Σ Σχήμα 5.10 : Μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας για ΦΒ/Θ συσκευές χωρίς κκάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου.

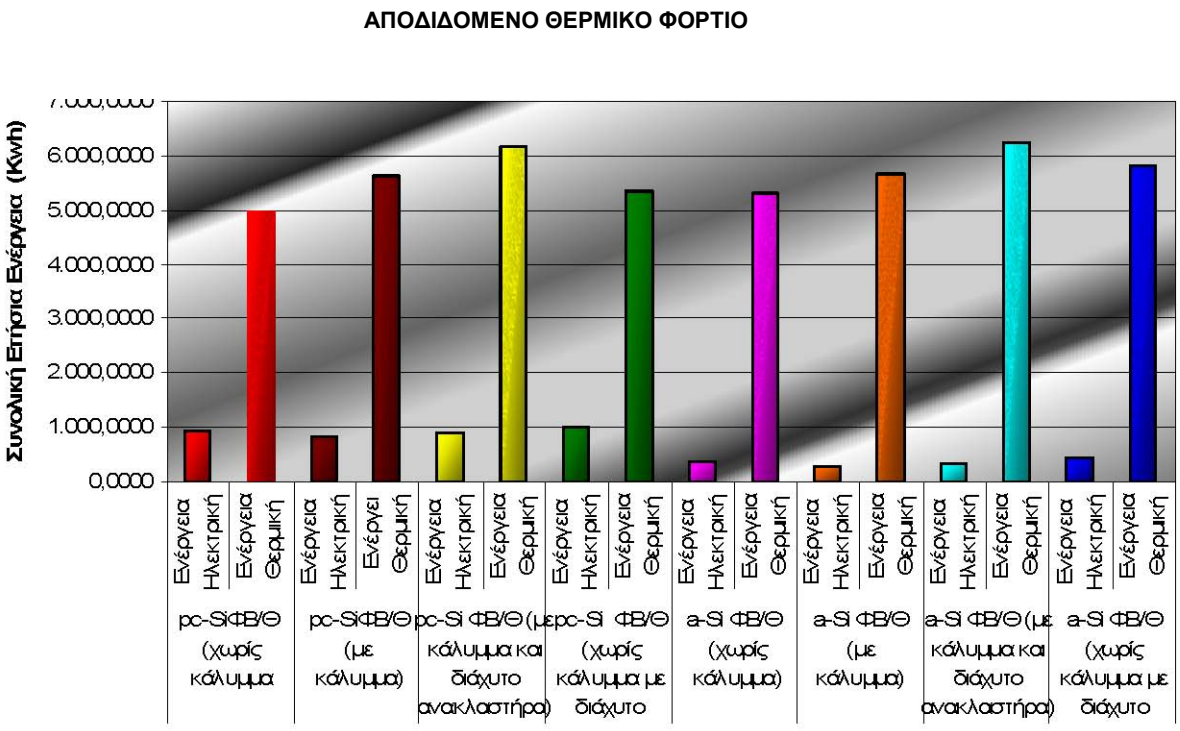
σημειωθεί είναι ότι τα συμπεράσματα από τους υπολογισμού συμπίπτουν με τα ευρήματα άλλων ερευνητών όπως αυτά έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4. Αυτό σημαίνει ότι οι τάσεις (δηλαδή για το πώς τα συστήματα αυτά συμπεριφέρνονται κάτω από δεδομένες διαφοροποιήσεις) όσον αφορά αυτά τα συστήματα είναι αρκετά ισχυρές και παρότι γίνανε κάποιες απλουστεύσεις τα αποτελέσματα δεν άλλαξαν. Αυτό που μένει είναι να αντιπαραβάλουμε τα αποτελέσματα των διαφόρων συσκευών με ημιαγωγό πολυκρυσταλλικού τύπου και ημιαγωγό άμορφου τύπου ώστε να βγουν συγκριτικά συμπεράσματα.

5.5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για ΦΒ/Θ συστήματα με την χρήση ημιαγωγού άμορφου και πολυκρυσταλλικού τύπου.

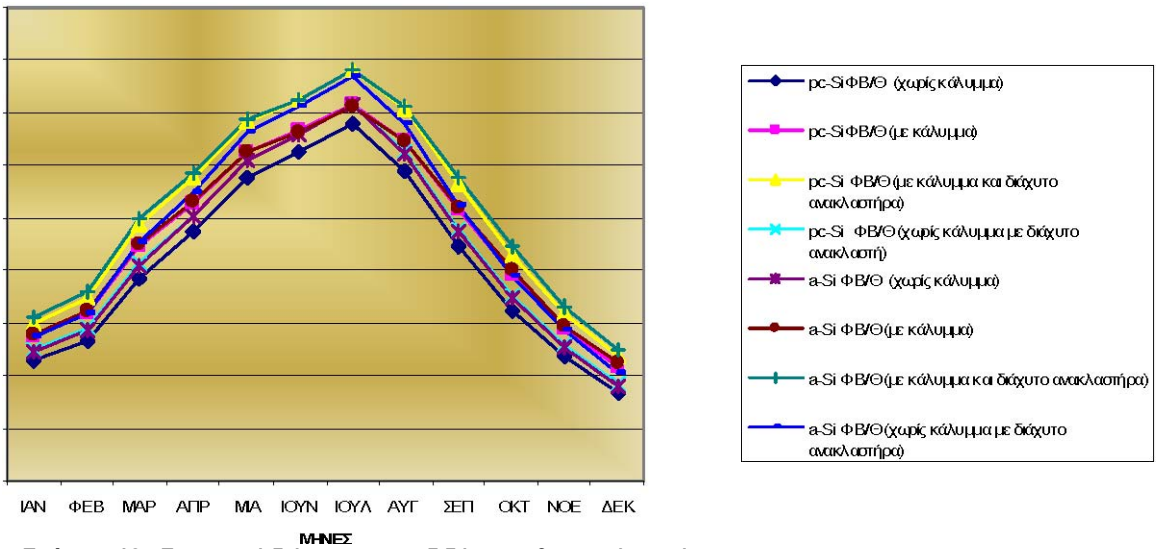
Αυτό που προκύπτει συγκρίνοντας τα αποτελέσματα είναι ότι η επίδραση των διαφόρων τύπων ΦΒ/Θ συσκευών έχουν την ίδια συμπεριφορά ανεξάρτητα από τον τύπο του ημιαγωγού. Δηλαδή η χρήση ή μη του γυάλινου καλύμματος λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο όπως και η χρήση ή μη του διάχυτου ανακλαστήρα. Όμως αυτό που έχει αξία να σημειωθεί είναι το γεγονός ότι στις συσκευές με χρήση ημιαγωγού άμορφου τύπου η αύξηση της ετήσια ηλεκτρικής απολαβής με τη χρήση διάχυτου ανακλαστήρα είναι σχεδόν διπλάσια από τους ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού τύπου (από 7% για το πολυκρυσταλλικό στο 15% για το άμορφο). Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών με χρήση ημιαγωγού άμορφου πυριτίου είναι μικρότερος από αντίστοιχο με την χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού τύπου. Έτσι υπάρχει μεγαλύτερο περιθώριο βελτίωσης.

Γενικά θα λέγαμε ότι οι ΦΒ/Θ συσκευές με χρήση ημιαγωγών άμορφου πυριτίου έχουν γενικά καλύτερη θερμική απολαβή, ενώ οι ΦΒ/Θ με χρήση ημιαγωγών πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν μεγαλύτερες τιμές ετήσιας ηλεκτρικής απολαβή, πράγμα που είναι φυσικό, δεδομένου ότι οι ημιαγωγοί πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν μεγαλύτερο ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης από αυτούς του άμορφου πυριτίου. Όσον αναφορά τις αυξημένες τιμές της θερμικής απολαβής των ημιαγωγών άμορφου πυριτίου αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης αυτού του τύπου είναι λιγότερο ευαίσθητος στην αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα για κάθε ένα βαθμό που αυξάνει η θερμοκρασία ο βαθμός απόδοσης πέφτει κατά περίπου 0,45% (δηλαδή -0,45÷0,50%/K) για τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου (cSi) και πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mcSi), ενώ για τα κελιά άμορφου πυριτίου (aSi) είναι περίπου 0,25% η πτώση (0,25%/K)[58,65]. Έτσι με την χρήση κελιών άμορφου πυριτίου είναι δυνατόν να επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, και άρα έχουμε μεγαλύτερη ετήσια θερμική απολαβή.

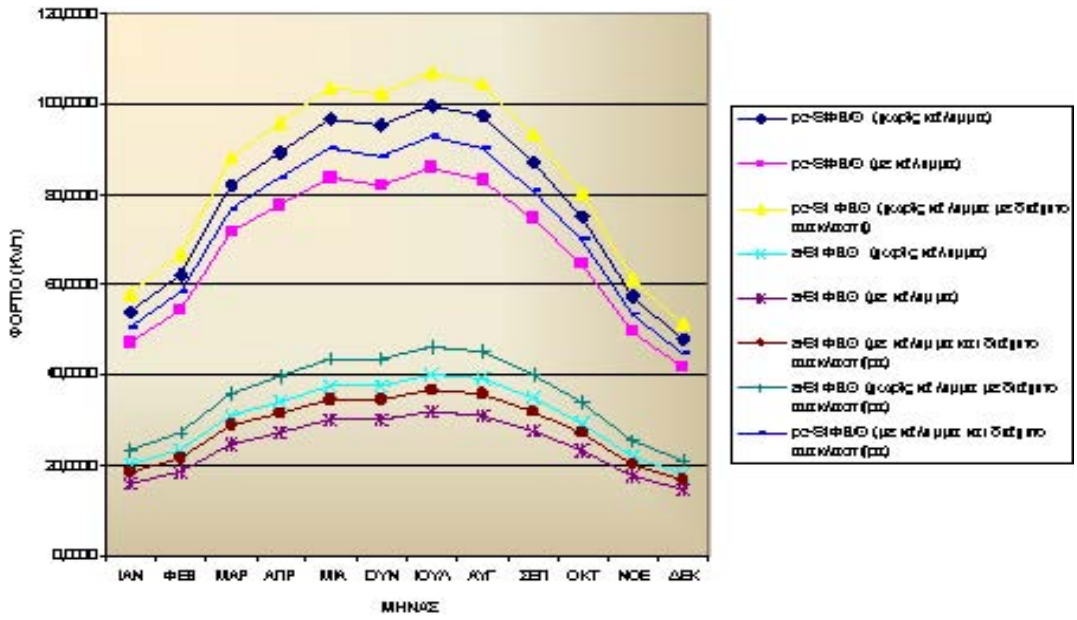
Συνεπώς φαίνεται καθαρά η κλίση των ΦΒ/Θ συσκευών με ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού τύπου προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας την στιγμή που οι αντίστοιχες συσκευές άμορφου πυριτίου παρουσιάζουν αυξημένες τιμές στην παραγωγή θερμικής ενέργεια. Αυτό το ιδιαίτερο γνώρισμα συμβάλει καθοριστικά στην απόσβεση της εγκατάστασης καθώς αυξάνει σημαντικά τον συνολικό βαθμό απόδοσης.



Σχήμα 5.11 : Συγκριτικό διάγραμμα ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.



Σχήμα 5.12 : Συγκριτικό διάγραμμα αποδιδόμενου θερμικού φορτίου.



Σχήμα 5.13 : Συγκριτικό διάγραμμα αποδιδόμενου ηλεκτρικού φορτίου.

5.6 ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ

Γενικά η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες) βοηθώντας την εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου, στην αποφυγή black out και στη μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή [69].

Από τα ακόλουθα σχήματα φαίνεται ότι τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της μεσημεριανής αιχμής, ενώ και η παραγωγή του ηλιακού ηλεκτρισμού κατά κύριο λόγο ακολουθεί την εποχιακή ζήτηση.

Όσον αναφορά τις περιπτώσεις που εξετάζουμε μπορώ να χρησιμοποιήσω την

Σχήμα 5.14 : Σύγκριση της ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού.

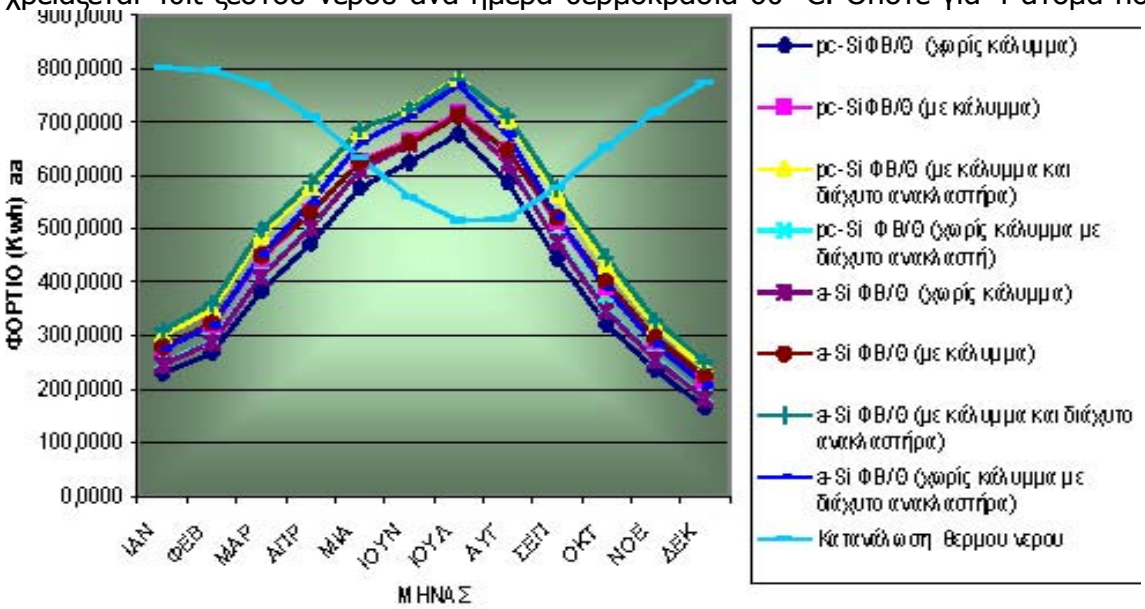
Σχήμα 5.15 : Σύγκριση της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και της παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού.

ενεργεία για να καλύψω ανάγκες όπως ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης και χρήσης ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις και τηλεπικοινωνίες). Για λόγους απόδοσης και οικονομίας δεν συνίσταται η χρήση της ηλεκτρικής ενεργεία από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών όπως οι κουζίνες, οι θερμοσίφωνες ή θερμοσυσσωρευτές. Για αυτές τις καταναλώσεις υπάρχουν οικονομικότερες λύσεις.

Όσο αναφορά την εκμετάλλευση της θερμική ενέργειας έχουμε το ακόλουθο γράφημα όπου παρουσιάζεται η απαιτούμενη θερμική κατανάλωση σε σχέση με την παραγόμενη θερμική ενεργεία για όλους τους μήνες του έτους.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΦΒ ΜΕ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Ο υπολογισμός της θερμικής κατανάλωσης έγινε θεωρώντας ότι κάθε άτομο χρειάζεται 40lt ζεστού νερού ανά ημέρα θερμοκρασία 60 °C. Οπότε για 4 άτομα που



Σχήμα 5.16 : Σύγκριση του παραγόμενου θερμικού φορτίου των διαφόρων διατάξεων ΦΒ/Θ συσκευών με τις θερμοσιφωνικές ανάγκες για διαμέρισμα τεσσάρων ατόμων.

είναι η περίπτωση που εξετάζουμε χρειάζονται ημερησίως 120lt ζεστού νερού .

Έτσι γνωρίζοντας την ειδική θερμότητα του νερού

$$(c_p = 4{,}181\ \frac{KJ}{Kg\,x\,K})$$

και την θερμοκρασιακή ανύψωση (από την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη ως τους 60 °C), και θεωρώντας ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι n = 0,8 βρίσκεται ότι η θερμότητα που καταναλώνεται για την θέρμανση του νερού στους 60 °C . Ως θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη λήφθηκε η μέση θερμοκρασία του νερού ανά ημέρα. Τα αποτελέσματα της θερμότητας που καταναλώνεται ανά μήνα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝ/ΣΗ (Kwh)	801,7	796,8	769,4	711,4	633,9	561,3	516,2	519,4	577,5	653,3	719,4	774,3

Πίνακας 5.8 : θερμικές ανάγκες που απαιτούνται ανά μήνα για διαμέρισμα τεσσάρων ατόμων.

Δεδομένου ότι οι συνολικές θερμικές ανάγκες ανά έτος σύμφωνα με τις παραδοχές που έγιναν είναι της τάξεως των 8034,6 Kwh εύκολα γίνεται αντιληπτό συγκρίνοντας με τα ετήσια θερμικά αποτελέσματα από του διάφορους τύπους των ΦΒ/Θ συσκευών ότι δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν συνολικά οι ανάγκες. Αυτό σημαίνει ότι θα απαιτηθεί είτε να χρησιμοποιηθεί και κάποιος ηλεκτρικός θερμοσίφωνας είτε να χρησιμοποιηθεί επιπλέον θερμικός συλλέκτης. Ένα άλλο σημείο που παρατηρείται και είναι προφανές και αναμενόμενο είναι ότι τους μήνες (Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο) ,όπου η θερμικές ανάγκες είναι χαμηλές και παράλληλα η ηλιακή ακτινοβολία υψηλή, οι θερμικές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν από τα υπό εξέταση συστήματα. Ενώ στις περισσότερες των περιπτώσεων έχουμε και περίσσευμα. Τους μήνες Απρίλιο και Οκτώβριο οριακά και σε ορισμένες μονό περιπτώσεις καλύπτονται οι ανάγκες (για τα συστήματα με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα).

Για να αποφανθούμε αν συμφέρει η χρήση αυτών των συστημάτων θα πρέπει να γίνει τεχνοοικονομική μελέτη. Καθώς τα τεχνικά στοιχεία από τους υπολογισμούς που έγιναν παρουσιάσθηκαν παραπάνω αυτό που απομένει είναι η οικονομική θεώρηση των συστημάτων. Έτσι στην επόμενη ενότητα παρουσιάζεται η οικονομική θεώρηση των συστημάτων αυτών.

5.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια προσπαθεί να δειχτεί κατά πόσον αυτά τα συστήματα αποτελούν μια ανταγωνιστική λύση για την ενεργειακή παραγωγή. Ουσιαστικά θα υπολογιστεί το ποσό της απόσβεση (χρήματα που πρέπει να καταβληθούν) και του ποσού που εξοικονομείται λόγω της χρήση των συστημάτων (χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που έγιναν για τη θερμική και την ηλεκτρική ενεργεία) και συγκρίνοντας τα θα φανεί αν είναι συμφέρουσα η χρήση τους. Οι τιμές των συστημάτων που θα μελετηθούν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [12,13].

Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε συστήματα $4m^2$ και δεξαμενής χωρητικότητας 200lt .

Γνωρίζοντας το κόστος κτήσης του κάθε συστήματος μπορεί να προσδιοριστεί η μηνιαία απόσβεση της επένδυσης και άρα η ετήσια απόσβεση για ένα χρονικό ορίζοντα της τάξης των 10 ετών με επιτόκιο 8% (επιλέχθηκε αυθαίρετα θεωρώντας ότι αντικατοπτρίζει την σημερινή κατάσταση της αγοράς).

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€/σύστημα)
pc-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)	4.400
pc-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)	4.800
pc-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα)	4.600
pc-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)	5.000
a-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)	3.200
a-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)	3.600
a-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα με ανακλαστήρα)	3.400
a-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)	3.800

Πίνακας 5.9 : Κόστος αγοράς κάθε συστήματος.

Ο υπολογισμός της μηνιαίας απόσβεσης για κάθε σύστημα έγινε στο Excel. Η μελέτη έγινε υπολογίζοντας το ετήσιο κέρδος από την χρήση των συστημάτων θεωρώντας ότι η τιμή της KWhώρας που πληρώνουμε στη ΔΕΗ είναι 0,112967. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς που κάναμε υπολογίσαμε το κέρδος (σε ευρώ) που έχουμε από τα συστήματα εκμεταλλευόμενοι όλη την ηλεκτρική ενέργεια. Στην περίπτωση της θερμικής ενέργειας υπολογίστηκε το κέρδος (σε ευρώ) θεωρώντας ότι γίνεται εκμετάλλευση όλης της θερμικής ενέργειας μόνο τους μήνες που οι θερμικές ανάγκες για την κατοικία των τεσσάρων ατόμων ήταν μεγαλύτερες από την παραγόμενη θερμική ενέργεια από τα συστήματα (δηλαδή τους χειμερινούς μήνες). Ενώ για τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η θερμική παραγωγή από τα συστήματα είναι μεγαλύτερη από τις θερμικές ανάγκες υπολογίστηκε ως κέρδος μόνο το ποσοστό αυτό που αρκούσε για την κάλυψη των θερμικών αναγκών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πινακοποιημένα στον ακόλουθο πίνακα.

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ (€)	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗ (€)	ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ(€)

pc-Si ΦΒ/Θ (χωρίς pc-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)	468,58	640,61	-172,03
pc-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)	680,14	698,85	-18,71
pc-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα)	502,33	669,73	-167,39
pc-Si ΦΒ/Θ (με pc-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)	505,85	727,97	-222,12
a-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα)	426,49	669,73	-243,24
a-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα)	455,41	524,14	-68,73
a-Si ΦΒ/Θ (χωρίς κάλυμμα με διάχυτο ανακλαστήρα)	460,15	465,9Ο	-5,75
a-Si ΦΒ/Θ (με κάλυμμα και διάχυτο ανακλαστήρα)	431,33	553,25	-121,92

Πίνακας 5.10 : Ετήσιου κέρδους, ετήσιας απόσβεσης, και τελικού αποτελέσματος.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι τα συστήματα αυτά θεωρώντας δεκαετή περίοδο απόσβεση και ότι η τιμή KWhώρας ισούται με 0,112967 δεν συμφέρουν για χρήση. Βλέπουμε δηλαδή ότι το ισοζύγιο είναι αρκετά ελλειμματικό (πλην μιας περιπτώσεως που είναι αρνητικό αλλά οριακά). Εδώ πρέπει να παρατηρηθεί ότι δεδομένου ότι η τιμή της KWhώρας αυξάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα δεν θα αργήσει ο καιρός που θα επέλθει ισορροπία και τα συστήματα αυτά θα είναι άκρως ανταγωνιστικά. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που εξετάσαμε θεωρήσαμε απόσβεση τα 10 χρόνια. Η επιλογή αυτή έγινε διότι τα συστήματα αυτά έχουν διάρκεια ζωής 1520 κατά συνέπεια τα 5 έως 10 χρόνια για την απόδοση μιας τέτοιας επένδυσης θεωρούνται ικανοποιητικά. Έτσι αν θέλαμε να τα εξετάσουμε τι θα συμβεί σε οριακές καταστάσεις τα νούμερα που θα προέκυπταν θα ήταν σαφώς καλύτερα. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι δεν θεωρήθηκε ποσό επιχορήγησης παρότι η επιχορήγηση τέτοιων εγκαταστάσεων είναι μια πολύ διαδεδομένη τακτική στο εξωτερικό. Κλείνοντας πρέπει να αναφερθεί ότι αυτά τα συστήματα έχουν μηδαμινές εκπομπές βλαβερών αερίων κατά την παραγωγή της ενέργεια γεγονός που αποτελεί ένας παράγοντας παράπλευρη εξοικονόμηση ενέργειας που και αυτό δεν λήφθηκε υπόψη. Το περιβάλλον έχει βρεθεί στο επίκεντρο της διεθνούς ανησυχίας κατά συνέπεια η εναρμόνιση με τα διεθνή πρότυπα όσον αναφορά τις εκπομπές αερίων στοιχίζει για όσους θέλουν να παράγουν ενέργεια με συμβατικούς τρόπους είτε υπό την μορφή προστίμου λόγω της υπέρβασης των ορίων είτε υπό την μορφή πρόληψης (εγκατάσταση φίλτρων και τεχνολογιών και διεργασιών λιγότερο ρυπογόνων) για την αποφυγή των προστίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ/ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Εισαγωγή

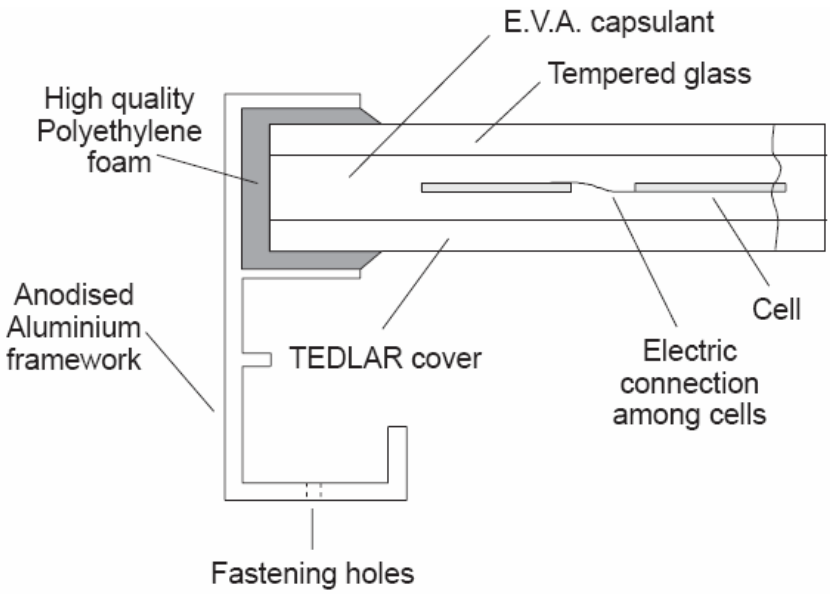
Το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) στοιχεία δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό αλλά σε θερμότητα, η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους με συνέπεια την μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Η φυσική ψύξη των ΦΒ συστημάτων με συναγωγή και ακτινοβολία δεν επαρκεί για την μείωση της θερμοκρασίας σε ικανοποιητικό βαθμό. Η απαγωγή της θερμότητας από τα (ΦΒ) πλαίσια βοηθά όχι μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους αλλά μπορεί και να αξιοποιηθεί αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή τους απόδοση. Τα ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά /θερμικά (φβ/θ ή PV/T) συστήματα, τα οποία αναπτύσσονται τελευταία και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε πιλοτικές εφαρμογές.

Η χρήση του νερού ως ρευστού απολαβής της θερμότητας είναι αποδοτική όλο το έτος, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Αυτές οι υβριδικές διατάξεις μπορούν να αξιοποιηθούν για την θέρμανση του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι 40º C) ώστε να επιτυγχάνεται παράλληλα και η διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας στα φ/β πλαίσια.

Στο παρόν παραδοτέο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα για την συμπεριφορά του υβριδικού φωτοβλαταϊκού/θερμικού συστήματος (PV/T), που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος INTERREQ. Το σύνθετο υβριδικό σύστημα PV/T κατασκευάστηκε από υλικά και υποσυστήματα τα οποία διατίθενται στο ελεύθερο εμπόριο και δοκιμάστηκε πειραματικά σε εξωτερικές συνθήκες φυσικού ηλιασμού για τον προσδιορισμό της θερμικής και της ηλεκτρικής του απόδοσης. Ως φωτοβολταϊκό υποσύστημα στο υβριδικό PV/T σύστημα, χρησιμοποιήθηκε η φ/β μονάδα I-100/12 της isofoton. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, οι χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης-ρεύματος, καθώς επίσης και οι διάφορες διαστάσεις της φ/β μονάδας δίνονται στο παράρτημα Ι.

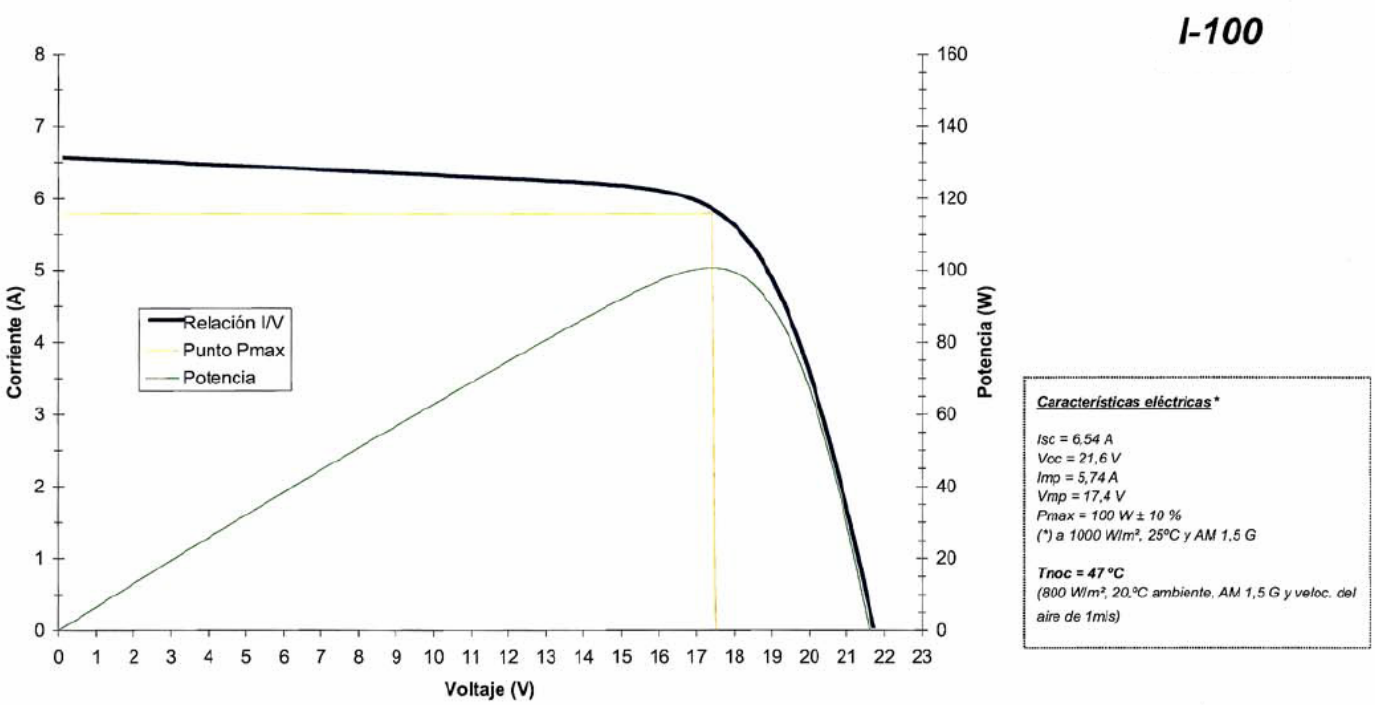
Οι φ/β κυψέλες είναι από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο ώστε να επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός απόδοσης κατά τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ισχύ. Οι 72 φ/β κυψέλες, οι οποίες συνδέονται ηλεκτρικά υπό τη μορφή δύο παράλληλων κλάδων των 32 εν σειρά συνδεδεμένων κυψελών έκαστος, σχηματοποιούνται υπό μορφή ελάσματος με τη χρήση οξικού αιθυλενο βινυλο εστέρα (ethylene-vinyl acetate, E.V.A.).

Η όλη κατασκευή της φ/β μονάδας φαίνεται στο σχήμα 6.1



Σχήμα 6.1

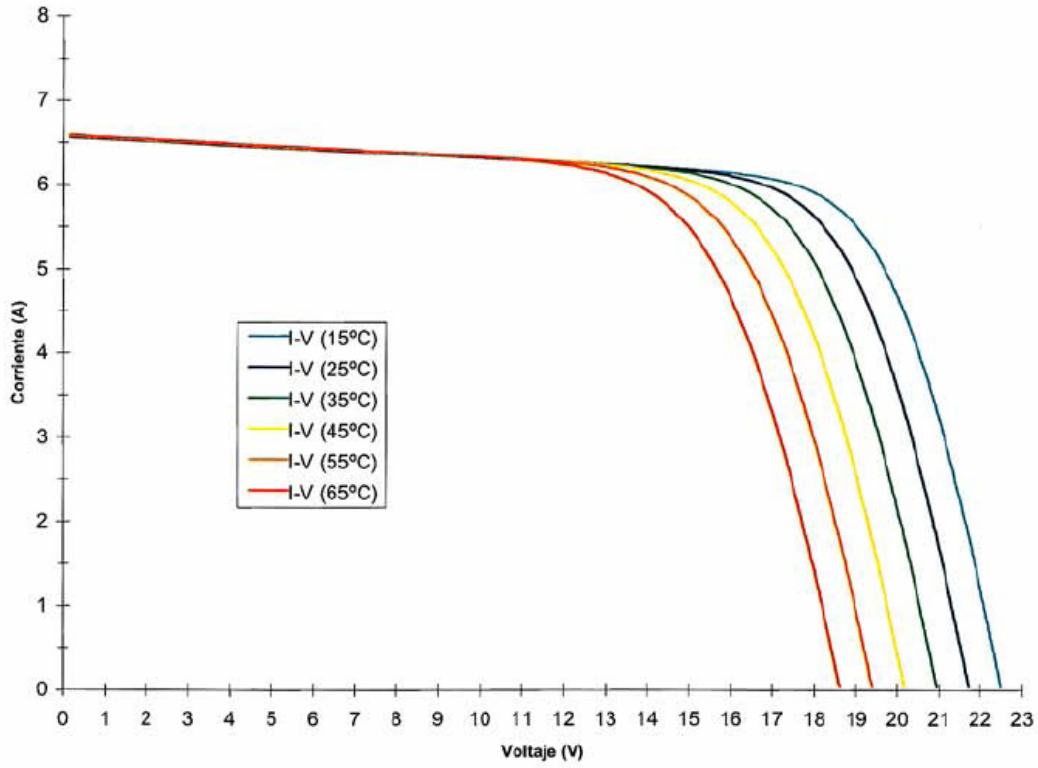
Η χαρακτηριστική καμπύλη του χρησιμοποιηθέντος φβ δείχνεται στο σχήμα 6.2



Σχήμα 6.2

Παρατηρούμε ότι υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας (G=1000W/m2, Tc=250C και AM=1,5), η φβ μονάδα παρουσιάζει ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc=6,54 A, τάση ανοιχτού κυκλώματος Voc=21,6V και μέγιστη ισχύ Pmax=100W±10% για τάση και ρεύμα μέγιστης ισχύος Vmp=17,4V και Imp=5,74 A,

Επίσης στο σχήμα 6.3 φαίνεται πως επηρεάζεται η χαρακτηριστική από τη θερμοκρασία του φβ στοιχείου:

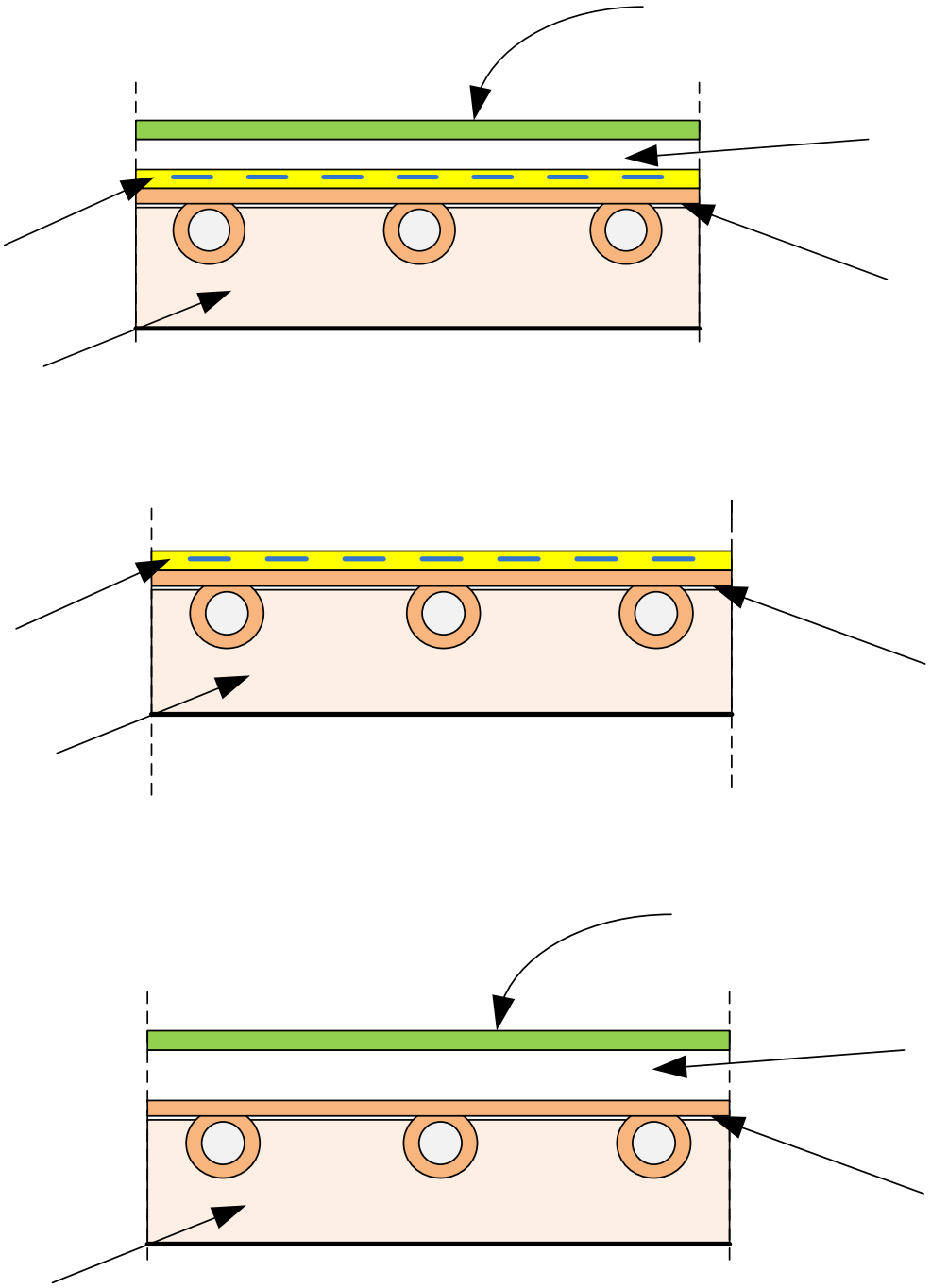


Σχήμα 6.3

Οι διατάξεις των φβ/θ συστημάτων οι οποίες κατασκευάστηκαν και μετρήθηκαν προκειμένου να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα ως προς την ηλεκτρική και θερμική συμπεριφορά τους ήταν τριών ειδών:

Η πρώτη διάταξη είχε ένα διαφανές κάλυμμα, μία συλλεκτήρια επιφάνεια η οποία σχεδιάστηκε με βέλτιστο τρόπο ως προς τη δομή της, μια φβ μονάδα, το πλαίσιο στήριξης και ην ανάλογη μόνωση, η δεύτερη διάταξη ήταν χωρίς διαφανές κάλυμμα, είχε μία συλλεκτήρια επιφάνεια η οποία σχεδιάστηκε με βέλτιστο τρόπο ως προς τη δομή της, μια φβ μονάδα, το πλαίσιο στήριξης και ην ανάλογη μόνωση και η τρίτη διάταξη είχε ένα διαφανές κάλυμμα, μία συλλεκτήρια επιφάνεια η οποία σχεδιάστηκε με βέλτιστο τρόπο ως προς τη δομή της, το πλαίσιο στήριξης και ην ανάλογη μόνωση, Δηλαδή λειτουργούσε όχι σαν ένα φβ/θ σύστημα, αλλά ως ένας απλός επίπεδος θερμικός ηλιακός συλλέκτης.

Ένα σκαρίφημα όλων των παραπάνω διατάξεων φαίνεται στο σχήμα 6.4.



Σχήμα 6.4

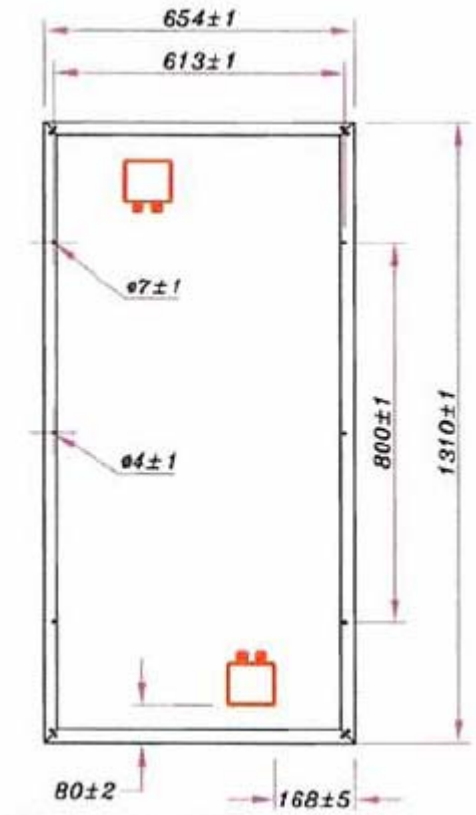
Οι μετρήσεις οι οποίες λήφθηκαν, πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας εισόδου του νερού στο συλλέκτη, της παροχής και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Συνολικά έγιναν 32 δεκάλεπτες μετρήσεις οι οποίες παρατίθενται στο παράρτημα.

Καμπύλες παραγόμενης θερμικής και ηλεκτρικής ισχύος

Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης, εκτός της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος, χρειάζεται η επιφάνεια της συλλεκτήριας συνιστώσας, καθώς επίσης και η επιφάνεια του φβ. Η επιφάνεια του συλλέκτη είναι:

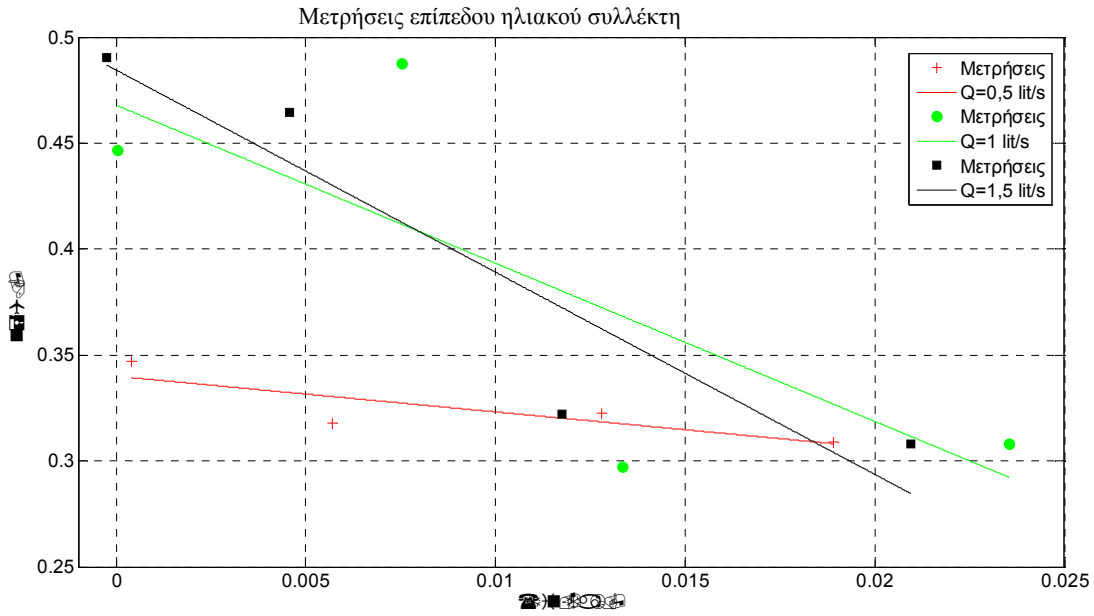
Ac = 583mm x 905mm ~ 0,53m2

και η επιφάνεια από το φβ είναι:



Apv = 613mm x 1269mm ~ 0,78m2

Η διαφοροποίηση στις επιφάνειες του συλλέκτη και του φβ οφείλεται κυρίως στα κιβώτια των ακροδεκτών του φβ.



fit_05 =

General model:

*fit_05(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.34 (0.3017, 0.3784)

b = -1.684 (-4.944, 1.576)

>> fit_10

fit_10 =

General model:

*fit_10(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.4679 (0.2013, 0.7345)

b = -7.46 (-26.44, 11.52)

>> fit_15

fit_15 =

General model:

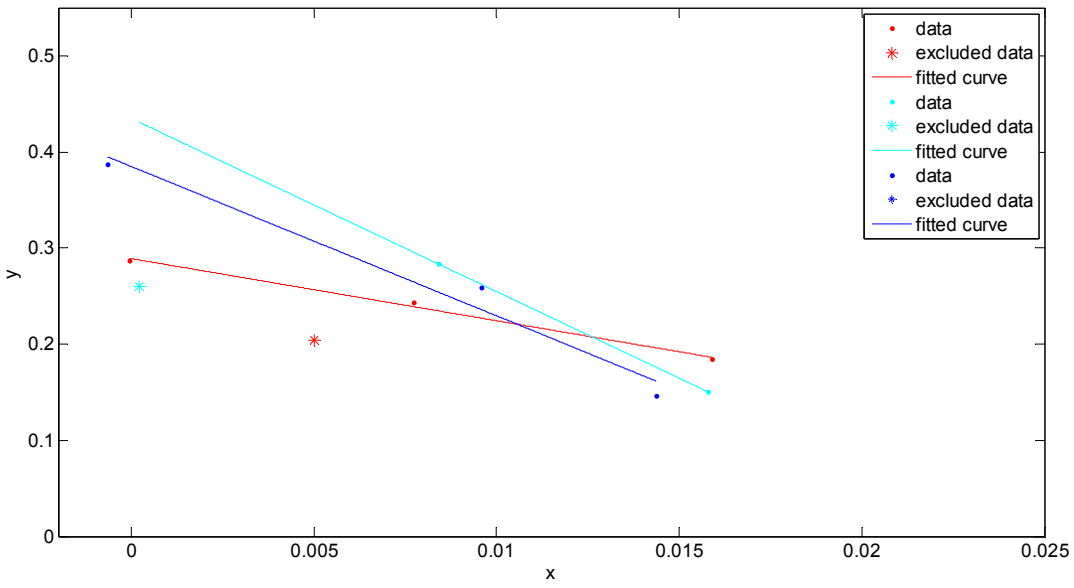
*fit_15(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.4845 (0.3436, 0.6254)

b = -9.539 (-21.07, 1.988)

Μετρήσεις υβριδικού με διαφανές κάλυμμα



fit_05 =

General model:

*fit_05(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.289 (0.2219, 0.3561)

b = -6.454 (-13.04, 0.1281)

>> fit_10

fit_10 =

General model:

*fit_10(x) = a+b*x*

Coefficients:

a = 0.4349

b = -18.01

>> fit_15

fit_15 =

General model:

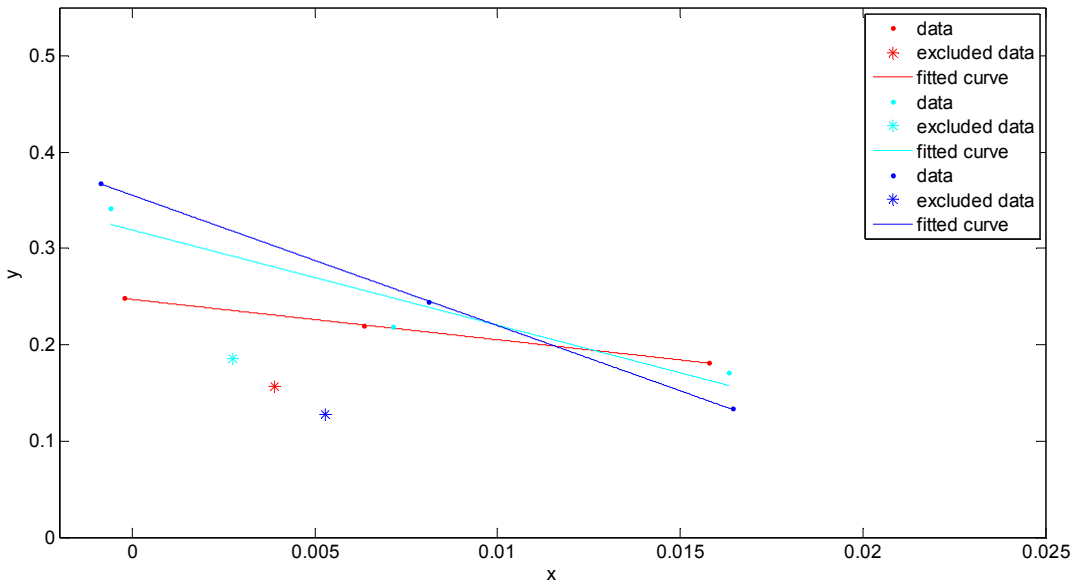
*fit_15(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.3849 (0.04748, 0.7223)

b = -15.53 (-49.34, 18.28)

Μετρήσεις υβριδικού χωρίς διαφανές κάλυμμα



fit_05 =

General model:

*fit_05(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.247 (0.24, 0.254)

b = -4.189 (-4.903, -3.476)

>> fit_10

fit_10 =

General model:

*fit_10(x) = a+b*x*

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.3191 (-0.08043, 0.7187)

b = -9.886 (-48.68, 28.91)

```
>> fit_15

fit_15 =

     General model:
       fit_15(x) = a+b*x
     Coefficients (with 95% confidence bounds):
       a =      0.3552  (0.3361, 0.3743)
       b =      -13.53  (-15.33, -11.73)
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο
"ΕΠΙΛΟΓΟΣ"

Μέσα από τη διαδρομή για την ολοκλήρωση της εργασία, ξεκινώντας από τη θεμελιώδη βιβλιογραφία στην πρώτη επαφή με αυτό το γνωστικό αντικείμενο, ακολούθως με τα επιστημονικά άρθρα για την εμβάθυνση και τέλος από τις επαφές που πραγματοποιήθηκαν με διάφορους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ένα πράγμα μου κατέστη σαφές και με εμφατικό τρόπο, ότι οι τεχνολογίες για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικά τα φωτοβολταϊκά θερμικά (ΦΒ/Θ) συστήματα παρότι, στην παρούσα φάση υπάρχει επιφυλακτικότητα ως προς την ευρύτερη εξάπλωση τους, στο μέλλον θα αποτελέσουν σίγουρα μια λύση για την λεγόμενη πράσινη ενέργεια. Η συνεχής βελτίωση των βαθμών απόδοσης τους καθώς και η σταδιακή μείωση των τιμών τους, λόγω της συνεχής ανάπτυξης της τεχνολογία κατασκευής των ημιαγωγών των (ΦΒ) στοιχείων, έχει στέψει το ενδιαφέρον προς αυτά τα συστήματα. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων έναντι των άλλων συστημάτων για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δηλαδή η δυνατότητα εγκατάστασης τους σε αστικό περιβάλλον, ο μικρός τους όγκος, η δυνατότητα τους ενσωμάτωση σε κτήρια υπό μορφή δομικών στοιχείων και οι αισθητικές λύσεις που παρέχουν δίνουν την αίσθηση της υπεροχής και προβάλουν ως οι μελλοντικοί ηγέτες στην αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Δεδομένου ότι στην Ελλάδα τα τελευταία 30 χρόνια έχει αναπτυχθεί μια σημαντική αγορά ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού οικιακής χρήσης το ενδεχόμενο αντικατάσταση των θερμοσιφωνικών συστημάτων με αυτά τα συστήματα είναι μεγάλο.

Εξετάζοντας τα φωτοβολταϊκά θερμικά (ΦΒ/Θ) συστήματα μέσα από τις δημοσιεύσεις προέκυψε ότι υπάρχουν πολλά τέτοια συστήματα που διαφοροποιούνται ανάλογα με τις διατάξεις των συστημάτων αυτών, τον τύπο της μονάδας απαγωγής της θερμότητας, το ρευστό που χρησιμοποιούν για την απαγωγή της θερμότητας και τον τύπο του ημιαγωγού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα κυριότερα συστήματα είναι τα ακόλουθα :

- ΦΒ/Θ σύστημα νερού χωρία κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα με διάχυτο ανακλαστήρα χωρίς γυάλινο κάλυμμα.
- ΦΒ/Θ σύστημα νερού με διάχυτο ανακλαστήρα και με γυάλινο κάλυμμα

Για την απαγωγή της θερμότητας χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον το νερό καθώς αυτό ψύχει το φωτοβολταϊκό στοιχείο καλύτερα παρότι απαιτεί διάταξη πιο περίπλοκη και πιο ακριβή από ότι η αντίστοιχη του αέρα [12,13]. Στις περιπτώσεις όπου ως ρευστό απαγωγής χρησιμοποιείται το νερό οι πιο διαδεδομένοι συλλέκτες είναι οι επίπεδοι συλλέκτες (flatplate collectors ή sheetandtube PVTcollectors) οι οποίοι παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Από το υπολογιστικό μέρος όπου εξετάστηκαν διάφορες διατάξεις των ΦΒ/Θ συστημάτων προέκυψαν ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα αναφορικά με τα υπό εξέταση συστήματα.

1. Με τη χρήση γυάλινου καλύμματος έχουμε μείωση της ετήσια ηλεκτρικής απολαβής και αύξησης της ετήσιας θερμικής απολαβής.
2. Η χρήση του διάχυτου ανακλαστήρα προκαλεί αύξηση της ετήσιας ηλεκτρική και θερμικής απολαβής.
3. Η αύξηση της ετήσιας ηλεκτρική και θερμικής απολαβής με τη χρήση του διάχυτου ανακλαστήρα είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ημιαγωγό άμορφου πυριτίου.

4. Οι φωτοβολταϊκές θερμικές (ΦΒ/Θ) συσκευές που χρησιμοποιούν στοιχεία από ημιαγωγούς άμορφου πυριτίου παρουσιάζουν μεγαλύτερες ετήσιες θερμικές απολαβές για όλες τις διατάξει σε σχέση με αυτές των στοιχείων από ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
5. Οι φωτοβολταϊκές θερμικές (ΦΒ/Θ) συσκευές που χρησιμοποιούν στοιχεία από ημιαγωγούς πολυκρυσταλλικού πυριτίου παρουσιάζουν μεγαλύτερες ετήσιες ηλεκτρικές απολαβές για όλες τις διατάξει σε σχέση με αυτές των στοιχείων από ημιαγωγούς άμορφου πυριτίου.
6. Γενικά για όλα τα συστήματα η ετήσια θερμική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια, διότι λόγω των χαμηλών βαθμών ηλεκτρικής απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων το μεγαλύτερο ποσοστό της απορροφημένης ηλιακή ακτινοβολίας μετατρέπετε σε θερμότητα.
7. Οι θερμικές ανάγκες ενός έτους μπορούν να καλυφθούν (για ένα κτίριο που διαμένουν τέσσερα άτομα) μονό κατά ένα μέρος παρότι κάποιους μήνες (θερινούς μήνες) οι ανάγκες υπερκαλύπτονται από την παραγωγή
8. Τα συστήματα αυτά χωρίς επιχορήγηση δεν είναι οικονομικά συμφέροντα. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε θεωρώντας 10 χρόνια για την απόσβεση και επιτόκιο 8%. Όμως έχουν τις προοπτικές σταδιακά να αποτελέσουν μια αξιόπιστη και ανταγωνιστική λύση για την παραγωγή πράσινης ενέργειας.

Γενικά αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι τα συμπεράσματα όπως αυτά προέκυψαν από τα αποτελέσματα των υπολογισμών συμπίπτουν με τις αναφορές από την βιβλιογραφική έρευνα. Όμως εδώ πρέπει να τονιστεί ότι τα συμπεράσματα αυτά δεν πρέπει να ληφθούν ως de facto καθώς οι υπολογισμοί έγιναν από εμπειρικές σχέσεις που μπορεί να αποδειχθεί ότι έχουν κάποιο ποσοστό λάθους, ενώ πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος εισαγωγής σφάλματος λόγω του ανθρώπινου παράγοντα και των παραδοχών που έγιναν. Ωστόσο, αυτά αποτελούν σίγουρα τάσεις και είναι ένα σκαλί για μελλοντικές αναζητήσεις και έρευνες.

Η μελέτη όλων των διατάξεων για όλους τους τύπους των μονάδων απαγωγής της θερμότητας αποτελούν μελλοντικές πεδίο έρευνας και συνέχιση της παρούσα εργασία. Επιπλέον παρατηρώντας τη μεγάλη επίδραση που έχει ο τύπος του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το φωτοβολταϊκό στοιχείο στην ετήσια θερμική και ηλεκτρική απολαβή προτείνεται και η εξέταση των άλλων τύπων των ημιαγωγών.

Κλείνοντας πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η βιώσιμη ενεργειακά ανάπτυξη πρέπει να παρέχει κατάλληλες ενεργειακές υπηρεσίες για την ικανοποίηση των βασικών αναγκών, να βελτιώνει την κοινωνική ευημερία και να επιτυγχάνει την οικονομική ανάπτυξη παντού πάνω στον πλανήτη χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα ζωής της παρούσα γενιάς αλλά και τον μελλοντικών. Η προστασία του περιβάλλοντος βρίσκεται στα χέρια μας. Με τη συμπεριφορά μας και τις καθημερινές αποφάσειςεπιλογές μας αποφασίζουμε το μέλλον του πλανήτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Henry C.H., "Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells" Appl. Phys., Vol 51, 1980.
2. Green M.A., Emery K., "Solar cell efficiency tables" Progress in Photovoltaic research and application, Vol 2, 1994, σελίδες 231 , 234.
3. Green M.A., Zhao J., Wang A., "23% Module anf other silicon 2nd solar cell advances" World Conference and Exhibition on Photovoltaic, 1998, σελίδες 11871192.
4. Chiang P.K., " Experimental result of GaInP2/GaAs/Ge triple junction cell development for space power systems", 25th IEEE PVSC, Washington DC, USA, 1994.
5. Zachariou A., Barnham K.W.J., Griffin P., Nelson J., "A new approach to p dopping and the observation of enhancement in InP/InGaAs quantum well solar cell", 25th IEEE PVSC, Washington DC, USA, 1994.
6. Denholm P., Margolis R. M., "Evaluating the limits of solar photovoltaics (PV) in traditional electric power systems" , Energy Policy, 2007, σελίδες 28522861.
7. Vries B.J.M., van Vuuren D.P., Hoogwijk M., "Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the21st century at a global level: An integrated approach" Energy Policy, 2007, σελίδες 29502610.
8. Τσελέπης Σ., "Σχέδιο δράσης σημαντικής διείσδυσης των ΑΠΕ σε νησιωτικά δίκτυα", ΚΑΠΕ, 2001.
9. Tselepis S., "The current state of the PV markets and PV technologies" Proceeding of International Conference, Patra, 2005.
10. Zondag H.A., Vries W.G.J., van Steenhoven A.A., "Thermal and electric yield of a combipanel" Proceeding of ISES Conference, Jerusalem, 1999.
11. Καραγκάκης Κ., "Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1992.
12. Tselepis S.,Tripanagnostopoulos Y., "Economic analysis of hybrid Photovoltaic/Thermal solar systems and comparison with standard PV module" , Proc. PV in Europe Conference, Rome, 2002, σελίδες 856859.
13. Tripanagnostopoulos Y., Tselepis S., Souliotis M., Touni J.K., "Design aspects of hybrid PVT/WATER solar systems", Proc 19th European PV solar energy conference, Paris,2004
14. Kalogirou A. S., "Use of TRNSYS for modeling and simulation of a hybrid pvthermal solar system in Cyprus", Renewable Energy, 2001, σελίδες 247 260
15. Affolter P., RuossD., Toggweiler P., Haller A., "New generation of hybrid solar PV/T collectors", Final Report, 2000.
16. Sandnes B., Rekstad J., "A photovoltaic / thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model" Solar Energy, Vol 72, 2002, σελίδες 6373.
17. Tripanagnostopoulos Y., Nousias T., Souliotis M., Yianoulis P., "Hybrid Photovoltaic/Thermal solar system" Solar Energy, Vol 72, 2002, σελίδες 217234.
18. Lansard J.P., Fraisse G., "Recherche et developpement d΄un capteur hybride PVT" Seminaire sur la recherché et le developpement

technologique ADEME, 2004
19. Garg H.P., Agarwal R.K "Some aspects of a PV/T collectors/forced circulation flat plate solar water heater with solar cells", Energy Conversion and Management, 1995, σελίδες 8799.
20. IEA International Energy Agency, "Photovoltaic/Thermal solar energy systems, status of the technology and roadmap for the future development. Power system program" Report IEA, 2002.
21. Leenders F., van der Ree B.G.C., van der Helden W.G.J., "Technology review on PV/thermal concepts", Eurosun Conference, 2000.
22. Wolf M., "Performance analysies fo combined heating and photovoltaic power systems for residences" , Energy Convers, 1976.
23. Evans D.L., Facinelli W.A., Otterbein R.T., "Combined photovoltaic/thermal systems studies" Report ASU ERCT78017,1978
24. Florchuetz L.W., "Extentionof the HottelWhillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors, Sol Energy, 1979.
25. Hendrie S.D., "Photovoltaic/thermal collectors development program final report", Report MIT,1982.
26. Cox C.H., Raghuraman P.A., "Design consideration for flat plate photovoltaic/thermal collectors. Sol Energy, 1985, σελίδες 227 241.
27. Youger P.R., Kreisman W.S., Nowlan M.J., Solomon J.S., Strong S.I., "Combination photovoltaic/thermal solar collectors for residential applications" 15th IEEE, Orlando, 1981.
28. Smith D.R., biringer K.L., Pritchard D.A., "Combined photovoltaic thermal collector testing" 13th , Washington, 1978.
29. Lambarski T.J., "Electrical design guidelines for photovoltaic/thermal systems" 17th IEEE,1984.
30. Suzuki A., Kitamura S., "Combined photovoltaic and thermal hybrid collector" Japan Phys, 1979.
31. Nakata Y., Kobe T., Shibuya N., Macjida T., Takemoto T., Tsuiji T., " A 30. KWp concentrating photovoltaic/thermal hybrid system application",IEEE, San Diego,1982.
32. Gibart C., "Study of and test on a hybrid photovoltaicthermal collector using concentrated sunlight", Sol Cells, 1981, σελίδες 7189.
33. Buffet P., "Hybrid thermal and photovoltaic concentration collectors", EC Contractors meeting, 1982.
34. Komp R.J.,"Field experience and performance evaluation of a novel photovoltaicthermal hybrid solar energy collector", Intersol, 1985.
35. Komp R.J.,"Practical photovoltaicselectricity from solar cells", 3rd ed.revised, Aatec Publications,2002.
36. Schwartz R., Rao K.H.S., Tscharner R., "Computeraided analysis of thermal images of solar cells and solar PV/T collectors", 5th EPSEC, 1983.
37. Bakker M., Zondag H.A., Elswijk M.J., Ottenbros M.T.N., van Helden W.G.J., "Outdoor performance of uncovered PV/thermal panels" , 19th EPSEC, 2004.
38. Zondag H.A., van Helden W.G.J., " Stagnation temperature in PV/T collectors", Conference PV in Europe,2002.
39. Rockendorf G., Sillmann R., Podlowski L., Litzenburger B.,"PVHybrid and thermoelectric collectors" , Sol Energy,1999, σελίδες 227237.
40. Bosanac M., Soerensen B., Katic I., Soerensen H., Nielsen B., Badran J., "Photovoltaic/thermal solar collectors and their potential" , Report

EFP,2003.
41. Tripanagnostopoulos Y., Tzavellas D., Zoulias I., Chortatou M., "Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operatio", 17th EPSEC, 2001.
42. Charalabous P.G., Maidment G., Kalogirou S.A., Yiakoumetti K., "Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: a review", Appl. Thermal Engineering, 2007, σελίδες 275286.
43. Chow T.T., He W., Ji J., "Hybrid photovoltaic thermosyphon water heating systems for residential application", Sol Energy, 2006, σελίδες 298 306.
44. Ji J., Chow T.T., He W., "Dynamic performance of hybrid photovoltaic/thermal collector wall in Hong Kong", Building Environ, 2004, σελίδες 13271334.
45. Lenox C., Ansley J., Torres A., " PV bonus. Two:Power roof", Report Powerlight,2003.
46. Boer K.W., Tamm G., "Solar conversion under consideration of energy and entropy", Sol Energy, 2004, σελίδες 525528.
47. Russell T., Beal J., Loferski J.J., Roessler B., Dobbins R., Shewchun J., "Combined photovoltaic/thermal collectors panels of improved design" 15th IEEE, 1981.
48. Komp R., Reeser T., "Design, construction and operation of a PV/Hot air hybrid energy systems", ISES Solar World Congress, Hamburg, 1987.
49. Ito S., Miura N., "Solar air collectors using photovoltaic modules as cover", ISES Solar World Congress, Budapest, 1993.
50. Ricaud A., Roubeau P., "Capthel, a 66% efficient hybrid solar 1st
51. Elazari A., "Multi solar system:solar multimodule for electrical module and the "ecothel" cogeneration solar system", WCPEC, Hawaii,1994.2nd and hot water supply for residentially building", WCPEC, Vienna, 1998.
52. Hollick J.C., "Solar cogeneration panels", Renew Energy,1998, σελίδες 195 200.
53. Tripanagnostopoulos Y., Nousias T., Souliotis M., "Test result of air cooled modified PV modules", 17th EPSEC,2001.
54. Trianagnostopoulos Y., Brazilian M., Zoulia I., Battisti R., "Hybrid PV/T systems with improved heat extraction modification", Conference PV in Europe, 2002.
55 Tonui J.k., Tripanagnostopoulos Y., "Improved performance PVT/AIR solar system", 20th EPSEC, Barcelona, 2005.
56 Sopian K., Liu H.Y., Kakac S., "Research and development of hybrid photovoltaic thermal solar air heaters", Global Energy Issues, 1997, σελίδες 382 -392.
57. Tiwari A., Sodha M.S., "Parametric study of various configurations of hybrid PV/thermal air collectors: Experimental validation of theoretical model", Sol Energy, 2007, σελίδες 17, 28.
58 Fraisse G., Menezo C., Johannes K., "Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of Direct Solar Floor type", Solar Energy,2007.
59 Zondag H.A., de Vries D.W., van Helden W.G.J., van Zolingen R.J.C., van Steenhoven A.A., "The yield of different combined PVthermal collectorsdesigns", Solar Energy,2003, σελίδες 253 269.
60. Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Tselepis S., Dimitriou V., Makris

T.Design and performance aspects for lowconcentration photovoltaics" Energy Conversion and Management, Vol 46, 2005, σελίδες 3034-3046.
61 Fujisawa T., Tani T., "Annual exergy evaluation on photovoltaicthermal hybrid collectors", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol 47, 1997, σελίδες 135148.
62. Bergene T., Lovvik O.M., "Model calculatios on a flat plate solar heat collectors with integrated solar cells", Solar Energy, Vol 55, 1995 , σελίδες 453462.
63. Chow T.T., "Performance analysis of photovoltaicthermal collector by explicit dynamic model", Solar Energy, Vol 75, 2003, σελίδες 143152.
64. Morita Y., Fujisawa T., Tani T., "Moment performance of photovoltaic/thermal hybrid panel (numerical analysis and exergetic evaluation)", Elctrical Engineering in Japan, 2000.
65. Kalogirou S.A., Tripanagnostopoulos Y., "Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production", Energy Conversion and Management, Vol 47, 2006, σελίδες 33863382.
66. Lansier F., Ang T.G., "Photovoltaic engineering handbook", Adam Higler,1990.
67. Mondol D.J., Yohanis Y.G., Norton B., " Comparison of measured and predicted long term performance of grid connected photovoltaicsystem", Energy Conversion and Management, Vol 48, 2007, σελίδες 10651080.
68. Αντωνοπουλος Κ., "ΘΕΡΜΙΚΑΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ", Πολυτεχνιακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο, Αθήνα, 2004.
69. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών " Φωτοβολταϊκά. Στρέψου στον ήλιο και θα αφήσεις τις σκιές πίσω σου. Ένας πρακτικός οδηγός.", http://www.helapco.gr .
70. Ζερβός Α., "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ", Πολυτεχνιακές Εκδόσεις, Αθήνα 2005.
71. Φραγκιαδάκης Ι.Ε., "Φωτοβολταϊκά Συστήματα", Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Δεύτερη έκδοση, Θεσσαλονίκη 2006.
72. Ιστοσελίδα AGORES : The official European Commission Web site for Renewable Energy Sources, http://www.agores.org .
73. European Commission, "Energy for the future: Renewable Sources of Energy", European Commission for a community strategy and Action Plan, 1997.
74. Ψωμάς Σ., Σύμβουλος Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών" Η αγορά φωτοβολταϊκών. Τάσεις και προοπτικές", Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 0.5 *lt/min*

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	30.96	30.98	38.55	923	8.56	0.02
2	30.93	30.98	38.51	922	8.55	0.05
3	30.94	30.99	38.47	922	8.55	0.05
4	30.98	30.91	38.45	922	8.55	-0.07
5	31.02	30.89	38.49	924	8.57	-0.13
6	31.06	30.96	38.55	923	8.55	-0.10
7	31.08	30.95	38.57	924	8.57	-0.13
8	31.1	30.96	38.60	925	8.58	-0.14
9	31.1	30.99	38.68	926	8.58	-0.11
10	31.09	31.06	38.74	926	8.58	-0.03
11	31.07	31.10	38.78	926	8.59	0.03
12	31.05	31.11	38.78	925	8.58	0.06
13	31.08	31.09	38.74	928	8.60	0.01
M.O	**31.04**	**30.99**	**38.6**	**924.3**	**8.57**	**-0.04**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	24	28.94	34.58	1001	10.15	4.94
2	24.03	28.55	34.18	1003	10.22	4.52
3	24.04	28.65	34.21	1000	10.13	4.61
4	24.01	28.84	34.36	1000	10.13	4.83
5	23.99	28.9	34.5	999	10.12	4.91
6	23.97	28.95	34.66	1003	10.2	4.98
7	23.95	29.01	34.8	1004	10.21	5.06
8	23.95	29	34.93	1006	10.22	5.05
9	23.95	29.05	35.05	1006	10.21	5.1
10	23.93	29.07	35.17	1004	10.19	5.14
11	23.94	29.18	35.28	1004	10.18	5.24
12	23.96	29.26	35.45	1003	10.18	5.3
13	23.99	29.26	35.6	1004	10.18	5.27
14	24.03	29.33	35.75	1005	10.21	5.3
M.O	**23.98**	**29.00**	**34.89**	**1003.00**	**10.18**	**5.02**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.08	35.05	41.64	938	8.57	6.97
2	28.04	35.22	41.66	930	8.5	7.18
3	28.05	35.27	41.71	931	8.46	7.22
4	28.06	35.19	41.77	932	8.46	7.13
5	28.06	35.28	41.74	935	8.54	7.22
6	28.08	35.36	41.75	934	8.54	7.28
7	28.11	35.37	41.78	932	8.52	7.26
8	28.13	35.27	41.85	930	8.5	7.14
9	28.13	35.17	41.9	930	8.51	7.04
10	28.13	35.36	41.88	928	8.46	7.23
11	28.15	35.45	41.92	930	8.5	7.3
12	28.14	35.36	41.98	934	8.55	7.22
13	28.13	35.4	42	938	8.58	7.27
14	28.14	35.44	42.01	937	8.58	7.3
M.O	**28.10**	**35.30**	**41.83**	**932.79**	**8.52**	**7.20**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	32.72	48.00	52.79	976	8.96	15.28
2	32.74	48.15	52.84	974	8.95	15.41
3	32.78	48.38	52.94	974	8.95	15.6
4	32.8	48.63	53.04	973	8.95	15.83
5	32.83	48.43	53.16	971	8.94	15.6
6	32.86	48.19	53.3	970	8.93	15.33
7	32.89	48.08	53.38	968	8.92	15.19
8	32.91	48.2	53.46	965	8.9	15.29
9	32.93	48.28	53.57	965	8.9	15.35
10	32.93	48.24	53.66	966	8.91	15.31
11	32.94	48.17	53.7	965	8.9	15.23
12	32.97	48.2	53.76	966	8.91	15.23
13	32.98	48.35	53.86	965	8.91	15.37
14	32.98	48.48	53.94	966	8.92	15.5
M.O	**32.88**	**48.27**	**53.39**	**968.86**	**8.93**	**15.39**

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 1 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	31.05	31.25	34.02	910	8.38	0.02
2	31.05	31.3	34.21	910	8.4	0.05
3	31.05	31.17	34.32	910	8.4	0.05
4	31.05	31.09	34.39	908	8.37	-0.07
5	31.05	31.15	34.47	910	8.41	-0.13
6	31.05	31.25	34.56	909	8.39	-0.10
7	31.05	31.34	34.69	908	8.4	-0.13
8	31.05	31.23	34.77	910	8.42	-0.14
9	31.06	31.03	34.78	911	8.43	-0.11
10	31.06	31.03	34.8	909	8.41	-0.03
11	31.07	31.09	34.86	910	8.43	0.03
12	31.05	31.22	35	912	8.44	0.06
13	31.02	31.99	35.11	913	8.45	0.01
14	30.99	31.32	35.14	913	8.46	0.33
Μ.Ο	**31.05**	**31.25**	**34.65**	**910.21**	**8.41**	**-0.01**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	25.43	29.04	37.19	1017	10.24	3.61
2	25.45	28.96	37.51	1014	10.21	3.51
3	25.46	29.03	37.79	1013	10.21	3.57
4	25.47	28.71	37.92	1017	10.25	3.24
5	25.47	29.46	38.13	1021	10.28	3.99
6	25.48	29.8	38.62	1018	10.22	4.32
7	25.49	29.79	38.79	1013	10.21	4.3
8	25.5	29.94	38.74	1012	10.22	4.44
9	25.54	30.06	38.94	1016	10.23	4.52
10	25.56	30.36	38.88	1015	10.23	4.8

11	25.56	30.6	38.36	1013	10	5.04
12	25.54	26.45	37.96	1011	10.2	0.91
13	25.53	29.83	38.12	1014	10.21	4.3
14	25.52	29.37	38.53	1012	10.2	3.85
15	25.52	29.84	38.65	1013	10.14	4.32
16	25.56	30.41	38.62	1014	10.22	4.85
M.O	**25.51**	**29.48**	**38.30**	**1014.56**	**10.20**	**3.97**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.28	35.93	40.06	930	8.54	7.65
2	28.31	36.09	39.99	929	8.53	7.78
3	28.35	36.11	39.99	929	8.54	7.76
4	28.37	36.03	40	930	8.55	7.66
5	28.37	36.01	39.92	931	8.55	7.64
6	28.38	36.12	39.89	929	8.54	7.74
7	28.39	36.13	39.9	927	8.52	7.74
8	28.38	36.13	39.9	926	8.52	7.75
9	28.38	36.18	39.89	928	8.54	7.8
10	28.37	36.16	39.89	927	8.53	7.79
11	28.36	36.31	39.9	926	8.53	7.95
12	28.37	36.29	39.93	926	8.5	7.92
13	28.37	36.3	40.1	916	8.5	7.93
14	28.37	36.3	39.98	937	8.57	7.93
15	28.38	36.31	39.9	938	8.59	7.93
16	28.38	36.31	39.91	938	8.19	7.93
M.O	**28.36**	**36.17**	**39.95**	**929.19**	**8.52**	**7.81**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	32.4	47.16	49.09	961	8.84	14.76
2	32.42	47.39	49.23	963	8.86	14.97
3	32.44	47.54	49.91	967	8.89	15.1
4	32.46	47.41	49.58	964	8.87	14.95
5	32.46	47.72	49.65	966	8.89	15.26
6	32.48	48.08	49.8	968	8.91	15.6
7	32.52	48.07	49.95	968	8.9	15.55
8	32.55	48.07	50.06	965	8.89	15.52
9	32.56	47.93	50.18	967	8.9	15.37
10	32.56	47.81	50.27	968	8.91	15.25
11	32.56	47.85	50.32	970	8.92	15.29
M.O	**32.49**	**47.73**	**49.82**	**966.09**	**8.89**	**15.24**

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 1,5 *lt/min*

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	31.45	30.73	35.23	902	8.28	-0.72
2	31.4	30.63	34.84	903	8.27	-0.77
3	31.36	30.53	34.51	904	8.31	-0.83
4	31.33	30.6	34.26	902	8.30	-0.73
5	31.31	30.62	34.09	903	8.31	-0.69
6	31.29	30.63	33.95	904	8.32	-0.66
7	31.27	30.66	33.86	905	8.33	-0.61
8	31.24	30.7	33.76	905	8.33	-0.54
9	31.21	30.77	33.70	904	8.33	-0.44
10	31.19	30.72	33.63	905	8.35	-0.47
11	31.19	30.73	33.58	905	8.35	-0.46
12	31.16	30.84	33.60	904	8.35	-0.32
13	31.12	30.89	33.59	904	8.35	-0.23
M.O	**31.27**	**30.69**	**34.04**	**903.84**	**8.32**	**-0.57**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	25.56	30.41	38.62	1014	10.22	4.85
2	25.61	30.66	39	1016	10.23	5.05
3	25.67	30.93	39.05	1020	10.26	5.26
4	25.71	31.00	39.1	1019	10.25	5.29
5	25.74	31.17	40.52	1021	10.26	5.43
6	25.77	31.76	38.97	1023	10.19	5.99
7	25.83	31.66	38.87	1024	10.28	5.83
8	25.9	31.49	39.13	1019	10.18	5.59
9	25.93	31.72	39.86	1016	10.14	5.79

10	25.92	31.12	38.55	1015	10.12	5.2
11	25.9	30.99	38.43	1015	10.21	5.09
12	25.91	31.03	37.9	1013	10.16	5.12
13	25.95	31.13	39.03	1015	10.04	5.18
14	26	31.11	42.15	1018	10.23	5.11
15	26.06	31.21	40.38	1017	10.23	5.15
16	26.11	31.28	39.16	1014	10.03	5.17
17	26.17	31.25	39.09	1014	10.14	5.08
18	26.24	31.47	39.26	1014	10.14	5.23
M.O	**25.89**	**31.19**	**39.28**	**1017.06**	**10.18**	**5.30**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.4	36.88	39.49	934	8.55	8.48
2	28.41	36.91	39.48	936	8.5	8.5
3	28.4	36.91	39.4	934	8.56	8.51
4	28.4	37.05	39.39	931	8.47	8.65
5	28.4	37.9	39.47	928	8.55	9.5
6	28.4	37.24	39.5	931	8.56	8.84
7	28.42	37.3	39.55	930	8.55	8.88
8	28.44	37.23	39.54	930	8.55	8.79
9	28.44	37.21	39.53	928	8.54	8.77
10	28.44	37.35	39.57	926	8.53	8.91
11	28.42	37.5	39.66	926	8.53	9.08
12	28.42	37.5	39.68	927	8.54	9.08
13	28.44	37.51	39.67	926	8.54	9.07
14	28.47	37.42	39.66	925	8.53	8.95
15	28.47	37.44	40.14	894	8.04	8.97
16	28.48	37.47	39.9	927	8.08	8.99
M.O	**28.43**	**37.30**	**39.60**	**927.06**	**8.48**	**8.87**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	31.97	44.82	45.97	944	8.75	12.85
2	32.01	45.44	46.21	944	8.75	13.43
3	32.03	45.31	46.47	943	7.92	13.28
4	32.08	45.3	46.72	939	6.39	13.22
5	32.11	45.87	46.98	938	6.37	13.76
6	32.14	45.95	47.21	937	7.33	13.81
7	32.17	45.77	47.37	944	8.18	13.6
8	32.19	45.73	47.37	947	8.60	13.54
9	32.21	45.98	47.46	949	8.73	13.77
10	32.22	46.01	47.55	954	8.76	13.79
11	32.23	46.2	47.64	955	8.78	13.97
12	32.24	46.34	47.72	957	8.80	14.1
M.O	**32.13**	**45.73**	**47.05**	**945.9**	**8.64**	**13.59**

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος χωρίς υαλοπίνακα και παροχή νερού

Q= 0.5 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	27.65	28.78	34.57	979	10.34	1.13
2	27.61	27.73	34.55	990	10.55	0.12
3	27.6	27.78	34.52	993	10.56	0.18
4	27.85	27.46	34.75	1000	10.6	-0.39
5	28.23	27.6	35	1005	10.41	-0.63
6	27.27	27.41	34.91	1001	10.59	0.14
7	28.3	27.26	34.88	962	10.42	-1.04
8	28.24	27.66	34.71	956	10.58	-0.58
9	28.26	27.82	34.72	967	10.6	-0.44
10	28.21	27.74	34.66	966	10.41	-0.47
11	28.32	27.93	34.77	950	10.55	-0.39
12	28.32	28.14	34.88	954	10.59	-0.18
M.O	**27.99**	**27.78**	**34.74**	**976.92**	**10.52**	**-0.21**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	23.63	26.6	29.84	995	11.53	2.97
2	23.65	26.71	30.31	994	11.52	3.06
3	23.68	26.89	30.85	994	11.52	3.21
4	23.7	27.2	31.15	993	11.51	3.5
5	23.72	27.46	31.44	993	11.51	3.74
6	23.74	27.63	31.71	994	11.58	3.89
7	23.75	27.64	31.93	996	11.59	3.89
8	23.77	27.7	32.12	998	11.61	3.93
9	23.8	27.83	32.28	999	11.62	4.03
10	23.83	27.83	32.48	998	11.62	4.00
11	23.85	27.94	32.64	997	11.62	4.09
12	23.87	28.04	32.83	997	11.63	4.17
13	23.87	28	32.98	997	11.63	4.13
14	23.88	28.06	33.08	999	11.66	4.18

15	23.9	28.13	33.2	1000	11.66	4.23
16	23.93	28.13	33.3	1003	11.67	4.2
17	23.96	28.22	33.42	1006	11.69	4.26
18	23.98	28.34	33.56	1006	11.58	4.36
M.O	**23.81**	**27.69**	**32.17**	**997.72**	**11.60**	**3.88**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.15	33.35	35.04	950	10.71	5.2
2	28.16	33.62	34.76	950	10.63	5.46
3	28.17	33.59	34.99	945	10.87	5.42
4	28.19	33.81	35.15	954	10.71	5.62
5	28.21	34.01	35.34	945	10.26	5.8
6	28.21	34.16	35.62	946	10.99	5.95
7	28.2	34.39	35.94	952	10.79	6.19
8	28.18	34.43	36.19	954	10.93	6.25
9	28.19	35.45	36.41	960	10.83	7.26
10	28.23	34.28	36.62	965	11.17	6.05
11	28.28	34.36	36.88	962	11.14	6.08
12	28.29	34.52	37.19	965	11.17	6.23
13	28.27	34.5	37.52	968	11.17	6.23
14	28.25	34.54	37.78	972	11.15	6.29
15	28.23	34.57	38.07	970	11.2	6.34
16	28.18	34.53	38.34	971	11.2	6.35
17	28.14	34.63	38.54	972	11.2	6.49
M.O	**28.21**	**34.28**	**36.49**	**958.88**	**10.95**	**6.07**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	33.19	48.81	54	966	10.36	15.62
2	33.21	48.95	53.96	968	10.35	15.74
3	33.21	48.86	53.91	970	10.33	15.65
4	33.21	48.61	53.82	971	10.34	15.4
5	33.19	48.22	53.68	969	10.29	15.03
6	33.19	48.2	53.52	968	10.29	15.01

7	33.19	48.1	53.35	962	9.9	14.91
8	33.21	48.19	53.23	961	10.37	14.98
9	33.21	48.43	53.13	962	10.38	15.22
10	33.24	48.51	53.07	964	10.4	15.27
11	33.25	48.39	53.02	965	9.93	15.14
12	33.25	48.16	52.97	962	10	14.91
M.O	**33.21**	**48.45**	**53.47**	**965.67**	**10.25**	**15.24**

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος χωρίς υαλοπίνακα και παροχή νερού

Q= 1 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	28.31	36.36	32.68	994	10.45	8.05
2	28.29	27.18	32.49	993	10.40	-1.11
3	28.25	27.47	31.95	989	10.35	-0.78
4	28.31	28.25	32.14	968	9.26	-0.06
5	28.26	28.39	32.11	957	10.57	0.13
6	28.07	27.83	32.04	947	10.57	-0.24
7	27.97	27.69	32.09	944	10.46	-0.28
8	27.88	26.62	32.16	943	10.52	-1.26
9	27.78	26.87	32.20	940	10.50	-0.91
10	27.71	28.34	32.27	941	10.53	0.63
M.O	**28.08**	**27.5**	**32.21**	**961.6**	**10.36**	**0.42**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	23.65	26.04	28.31	990	11.53	2.39
2	23.63	26.15	28.36	991	11.41	2.52
3	23.62	26.25	28.42	991	11.51	2.63
4	23.62	26.25	28.57	991	11.42	2.63
5	23.63	26.31	28.74	991	11.51	2.68
6	23.63	26.32	28.89	992	11.53	2.69
7	23.61	26.31	29.01	992	11.53	2.7
8	23.61	26.35	29.12	990	11.51	2.74
9	23.6	26.41	29.26	991	11.52	2.81
10	23.59	26.44	29.37	992	11.52	2.85
11	23.6	26.45	29.46	993	11.35	2.85
12	23.6	26.55	29.58	995	11.54	2.95
13	23.6	26.59	29.7	996	11.54	2.99
M.O	**23.61**	**26.34**	**28.98**	**991.92**	**11.49**	**2.73**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.16	34.68	37.79	974	11.23	6.52
2	28.21	34.76	37.82	973	10.91	6.55
3	28.25	34.87	37.86	970	11.2	6.62
4	28.28	34.9	37.93	973	11.23	6.62
5	28.31	34.98	38.01	974	11.23	6.67
6	28.33	35.17	38.13	972	11.22	6.84
7	28.34	35.38	38.31	974	11.23	7.04
8	28.34	35.36	38.41	971	11.2	7.02
9	28.34	35.52	38.51	968	11.17	7.18
10	28.33	35.64	38.64	966	11.12	7.31
11	28.35	35.54	38.68	970	11.18	7.19
12	28.38	35.56	38.72	971	11.12	7.18
13	28.41	35.67	38.8	971	11.19	7.26
M.O	**28.31**	**35.23**	**38.28**	**971.31**	**11.17**	**6.92**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	33.29	49.66	52.07	972	10.45	16.37
2	33.31	49.55	52.1	970	10.44	16.24
3	33.32	49.06	51.97	968	10.43	15.74
4	33.34	49.11	51.77	969	10.44	15.77
5	33.36	49.17	51.68	971	10.45	15.81
6	33.37	49.98	51.62	967	10.41	16.61
7	33.38	49.29	51.52	965	10.39	15.91
8	33.38	49.27	51.55	965	10.39	15.89
9	33.38	49.16	51.53	970	10.44	15.78
10	33.39	48.91	51.47	969	10.43	15.52
11	33.39	48.82	51.37	969	10.43	15.43
12	33.39	49.08	51.31	968	10.42	15.69
13	33.42	49.24	51.32	967	10.42	15.82
14	33.44	49.04	51.34	969	10.43	15.6
15	33.47	48.76	51.23	972	10.46	15.29
M.O	**33.38**	**49.21**	**51.59**	**968.73**	**10.43**	**15.83**

Μετρήσεις υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος χωρίς υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 1,5 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	28.96	28.83	31.95	967	10.46	-0.13
2	28.95	28.39	37.78	963	10.41	-0.56
3	28.93	28.58	31.59	974	10.46	-0.35
4	28.93	28.67	31.43	991	10.60	-0.26
5	28.95	28.44	31.28	993	10.57	-0.51
6	28.95	28.53	31.16	997	10.52	-0.42
7	28.94	28.66	31.03	998	10.49	-0.28
8	28.93	28.01	30.92	999	10.51	-0.92
9	28.95	27.39	30.79	1000	10.52	-1.56
10	28.95	27.31	30.69	995	10.08	-1.64
11	28.95	27.28	30.61	994	10.38	-1.67
12	28.94	27.44	30.56	982	10.29	-1.5
13	28.93	27.72	30.54	978	10.42	-1.21
M.O	**28.94**	**28.09**	**31.56**	**987**	**10.43**	**-0.85**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	28.94	33.48	34.74	906	9.39	4.54
2	28.89	33.55	34.75	908	9.63	4.66
3	28.87	33.54	34.73	913	9.68	4.67
4	28.83	33.54	34.73	913	9.68	4.71
5	28.79	33.58	34.72	918	9.7	4.79
6	28.75	33.6	34.7	919	9.64	4.85
7	28.73	33.59	34.7	915	9.68	4.86
8	28.7	33.63	34.69	913	9.66	4.93
9	28.67	33.61	34.7	914	9.47	4.94
10	28.65	33.67	34.68	913	9.68	5.02
11	28.64	33.65	34.71	914	8.55	5.01
M.O	**28.77**	**33.59**	**34.71**	**913.27**	**9.52**	**4.82**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	28.48	36.06	38.69	711	10.66	7.58
2	28.47	35.93	38.48	966	10.92	7.46
3	28.45	35.94	38.36	963	11.08	7.49
4	28.43	35.96	38.29	960	10.55	7.53
5	28.43	35.99	38.28	961	11.07	7.56
6	28.42	36.09	38.27	960	11.07	7.67
7	28.44	36	38.25	962	11.09	7.56
8	28.46	35.92	38.18	963	11.1	7.46
9	28.47	36.08	38.24	963	10.81	7.61
10	28.46	36.09	38.27	965	11.13	7.63
11	28.46	36.19	38.29	966	11.14	7.73
12	28.45	36.32	38.33	965	11.12	7.87
13	28.44	36.36	38.39	965	11.12	7.92
14	28.45	36.39	38.35	962	11.1	7.94
15	28.48	36.42	38.35	964	11.11	7.94
M.O	**28.45**	**36.12**	**38.33**	**946.40**	**11.00**	**7.66**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	34.01	49.49	50.94	973	10.47	15.48
2	34.05	49.68	51	974	10.46	15.63
3	34.08	49.89	51.11	969	10.43	15.81
4	34.08	49.99	51.23	967	10.41	15.91
5	34.08	50.09	51.34	965	10.4	16.01
6	34.06	50.07	51.37	965	10.39	16.01
7	34.06	50.1	51.33	963	10.38	16.04
8	34.09	50.12	51.37	962	10.38	16.03
9	34.11	50.09	51.39	961	10.37	15.98
10	34.14	49.95	51.37	961	10.37	15.81
11	34.17	49.96	51.3	960	10.37	15.79
12	34.19	50.13	51.32	960	10.36	15.94
13	34.21	50.22	51.34	959	10.36	16.01
14	34.21	50.05	51.17	959	10.36	15.84

15	34.24	49.94	50.99	959	10.36	15.7
16	34.27	49.98	50.95	957	10.35	15.71
17	34.29	49.82	50.93	958	10.3	15.53
M.O	**34.14**	**49.97**	**51.20**	**963.06**	**10.38**	**15.84**

Μετρήσεις ηλιακού συλλέκτη με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 0.5 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Τάση ρεύματος (V)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	28.33	28.37	36.23	960	8.96	0.04
2	28.38	28.59	36.8	958	8.95	0.21
3	28.43	28.74	37.21	958	8.95	0.31
4	28.47	28.81	37.58	966	8.95	0.34
5	28.5	28.84	37.91	972	8.94	0.34
6	28.52	28.89	38.17	975	8.93	0.37
7	28.54	28.94	38.49	971	8.92	0.4
8	28.57	28.98	38.74	966	8.9	0.41
9	28.58	29.03	38.99	966	8.9	0.45
10	28.6	29.08	39.25	963	8.91	0.48
11	28.63	29.08	39.51	957	8.9	0.45
12	28.64	29.1	39.76	973	8.91	0.46
13	28.64	29.1	40	987	8.91	0.46
14	28.63	29.11	40.21	1006	8.92	0.48
15	28.66	29.24	40.4	1024	**8.92**	0.58
M.O	**28.54**	**28.93**	**38.62**	**973.47**	**8.92**	**0.39**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	30.85	36.3	44.06	974	5.45
2	30.85	36.41	41.44	975	5.56
3	30.87	36.42	42.44	973	5.55
4	30.91	36.47	44.65	974	5.56
5	30.92	36.66	44.91	970	5.74
6	30.93	36.68	45.19	969	5.75
7	30.96	36.52	45.53	969	5.56
8	30.98	36.46	45.84	967	5.48
9	31.01	36.47	46.12	968	5.46
10	31.05	36.39	46.37	964	5.34
11	31.09	36.4	46.49	963	5.31
12	31.1	36.54	46.59	959	5.44
13	31.1	36.56	46.7	956	5.46

14	31.12	36.53	46.72	956	5.41
15	31.12	36.73	46.8	957	5.61
M.O	**30.99**	**36.50**	**45.32**	**966.27**	**5.51**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	29.25	40.59	48.26	896	11.34
2	29.26	40.61	48.46	896	11.35
3	29.26	40.68	48.6	898	11.42
4	29.26	40.64	48.72	899	11.38
5	29.25	40.55	48.81	899	11.3
6	29.23	40.39	48.9	895	11.16
7	29.23	40.33	48.95	893	11.1
8	29.23	40.43	49.01	890	11.2
9	29.22	40.6	49.09	891	11.38
10	29.19	40.64	49.2	895	11.45
11	29.14	40.69	49.31	893	11.55
12	29.11	40.82	49.39	894	11.71
13	29.1	41.49	49.4	892	12.39
M.O	**29.21**	**40.65**	**48.93**	**894.69**	**11.44**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	35.1	55.05	61.6	967	34.1
2	35.13	54.32	61.63	968	33.13
3	35.15	53.72	61.62	967	32.15
4	35.17	53.41	61.74	966	31.17
5	35.19	53.25	61.77	965	30.19
6	35.21	53.24	61.82	969	29.21
7	35.21	53.03	61.86	967	28.21
8	35.2	52.93	61.98	964	27.2
9	35.19	52.9	62.18	961	26.19
10	35.17	52.77	62.21	961	25.17
11	35.16	52.96	62.22	961	24.16
12	35.15	53.28	62.3	959	23.15
13	35.15	53.36	62.36	957	22.15
M.O	**35.17**	**53.40**	**61.95**	**964.00**	**28.17**

Μετρήσεις ηλιακού συλλέκτη με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 1 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	28.18	28.27	33.01	944	0.09
2	28.21	28.2	33.27	932	-0.01
3	28.23	28.21	33.47	924	-0.02
4	28.26	28.3	33.76	927	0.04
5	28.29	28.32	34.01	927	0.03
6	28.32	28.29	34.18	922	-0.03
7	28.34	28.38	34.35	927	0.04
8	28.35	28.4	34.52	944	0.05
9	28.35	28.44	34.67	954	0.09
10	28.34	28.51	34.82	960	0.17
11	28.33	28.45	34.93	956	0.12
12	28.32	28.37	35.03	947	0.05
13	28.3	28.34	35.1	947	0.04
14	28.29	28.26	35.11	950	-0.03
15	28.3	28.22	35.11	954	-0.08
M.O	**28.29**	**28.33**	**34.36**	**941.00**	**0.04**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	31.13	36.95	45.83	959	5.82
2	31.08	37.34	44.93	958	6.26
3	31.04	37.46	44.78	963	6.42
4	31.03	37.56	44.61	963	6.53
5	31.03	37.37	44.4	962	6.34
6	31.06	37.57	44.22	960	6.51
7	31.11	37.73	44.12	960	6.62
8	31.16	37.76	44.05	960	6.6
9	31.2	37.86	44.06	956	6.66
10	31.2	37.84	44.08	951	6.64
11	31.2	37.95	44.1	951	6.75
12	31.21	37.88	44.07	950	6.67
13	31.24	37.89	44.03	951	6.65

14	21.27	37.93	44.01	950	16.66
15	31.3	38.01	44.04	946	6.71
M.O	**30.48**	**37.67**	**44.36**	**956.00**	**7.19**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	29.31	41.12	44.89	904	11.81
	29.34	41.32	44.99	903	11.98
3	29.37	41.44	45.13	906	12.07
4	29.32	41.34	45.31	909	12.02
5	29.25	41.28	45.21	908	12.03
6	29.2	41.24	45.22	904	12.04
7	29.18	41.26	45.19	903	12.08
8	29.18	41.42	45.2	904	12.24
9	29.21	41.43	45.27	906	12.22
10	29.21	41.33	45.3	903	12.12
11	29.19	41.36	45.29	902	12.17
12	29.19	41.4	45.31	902	12.21
M.O	**29.25**	**41.33**	**45.19**	**904.50**	**12.08**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	35.23	56.72	61.37	955	21.49
2	35.25	57.02	61.65	954	21.77
3	35.29	56.93	61.87	953	21.64
4	35.29	56.32	61.82	952	21.03
5	35.26	56.32	61.6	954	21.06
6	35.24	56.41	61.5	956	21.17
7	35.24	56.39	61.41	956	21.15
8	35.24	56.48	61.29	952	21.24
9	35.23	56.58	61.22	949	21.35
10	35.24	56.85	61.23	949	21.61
11	35.27	56.92	61.35	949	21.65
12	35.3	57	61.46	950	21.7
13	35.3	57.17	61.56	946	21.87
14	35.3	57.55	61.73	945	22.25
M.O	**35.26**	**56.76**	**61.50**	**951.43**	**21.50**

Μετρήσεις ηλιακού συλλέκτη με χρήση υαλοπίνακα και παροχή νερού Q= 1 lt/min

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 1 MIN**
1	28.05	26.96	31.86	933	-1.09
2	28.05	27.4	32.00	935	-0.65
3	28.05	27.36	32.04	934	-0.69
4	28.05	27.41	32.01	940	-0.64
5	28.07	27.47	31.98	942	-0.6
6	28.07	27.7	31.98	941	-0.37
7	28.07	27.78	32.07	943	-0.29
8	28.07	27.84	32.11	943	-0.23
9	28.09	27.91	32.15	943	-0.18
10	28.11	28.05	32.26	943	-0.06
11	28.12	28.02	32.35	943	-0.10
12	28.13	28.32	32.40	944	0.19
13	28.13	28.10	32.49	943	-0.03
14	28.11	28.22	32.58	943	0.11
15	28.09	28.20	32.63	947	0.11
16	28.09	28.22	32.68	948	0.13
17	28.1	28.34	32.77	949	0.24
M.O	**28.09**	**27.84**	**32.26**	**942.00**	**-0.24**

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 2**
1	27.84	32.37	38.02	910	4.53
2	27.83	32.42	37.11	862	4.59
3	27.83	32.06	36.53	911	4.23
4	27.86	31.72	36.23	940	3.86
5	27.87	31.69	36.05	938	3.82
6	27.89	31.74	35.98	930	3.85
7	27.89	31.88	35.98	923	3.99
8	27.9	31.89	35.95	926	3.99
9	27.92	31.93	35.92	944	4.01

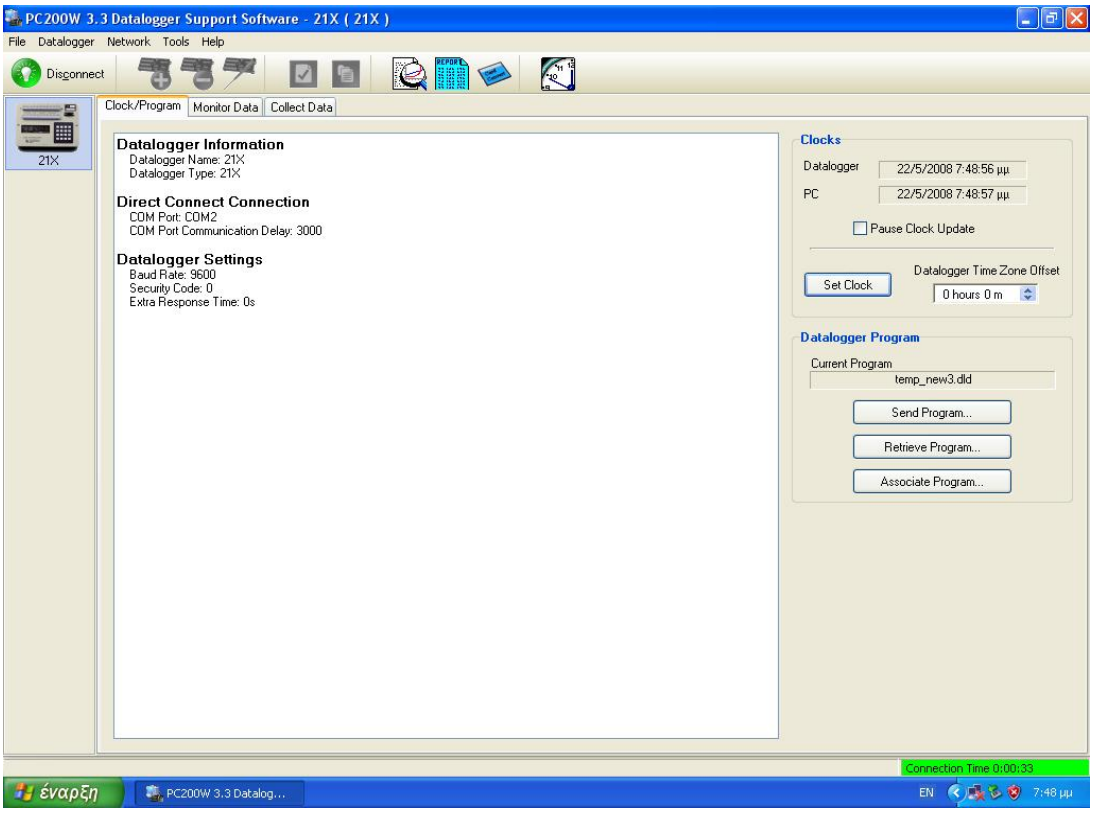
10	27.93	32.01	35.99	941	4.08
11	27.92	32.09	35.99	931	4.17
12	27.92	32.17	36	937	4.25
13	27.91	32.34	36.08	934	4.43
14	27.9	32.42	36.14	932	4.52
15	27.88	32.53	36.22	951	4.65
16	27.89	32.5	36.2	941	4.61
17	27.92	32.56	36.23	942	4.64
M.O	**27.89**	**32.14**	**36.27**	**929.00**	**4.25**

A/A	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 3**
1	29.02	39.79	42.61	929	10.77
2	29.04	39.71	42.63	929	10.67
3	29.04	39.72	42.67	929	10.68
4	29.04	39.83	42.68	928	10.79
5	29.05	39.96	42.76	926	10.91
6	29.07	40.03	42.83	926	10.96
7	29.09	40.11	42.93	928	11.02
8	29.09	40.03	42.91	931	10.94
9	29.1	40.04	42.95	931	10.94
10	29.09	39.99	42.94	931	10.9
11	29.07	40.02	42.93	930	10.95
12	29.06	40.09	42.95	928	11.03
13	29.07	40.34	43.06	926	11.27
M.O	**29.06**	**39.97**	**42.83**	**928.62**	**10.91**

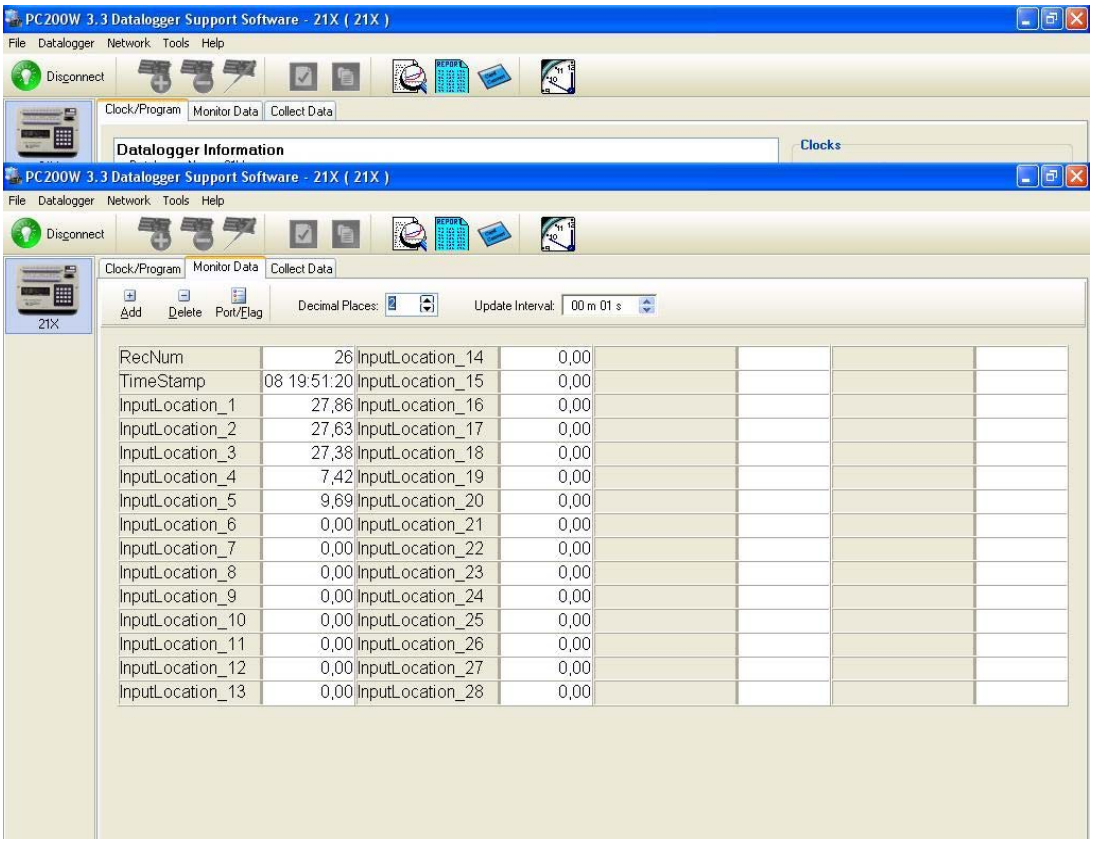
A/A	Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	Διαφορές θερμοκρασιών **σημείο 4 MAX**
1	34.8	54.33	56.95	963	19.53
2	34.8	54.52	57.2	964	19.72
3	34.81	54.65	57.44	965	19.84
4	34.8	54.41	57.53	964	19.61
5	34.78	54.66	57.63	963	19.88
6	34.76	54.8	57.79	962	20.04

7	34.75	54.79	57.89	961	20.04
8	34.73	55	57.89	959	20.27
9	34.71	55.07	57.92	959	20.36
10	34.71	55.3	57.9	958	20.59
11	34.72	55.4	58.13	956	20.68
12	34.74	55.66	58.26	956	20.92
M.O	**34.76**	**54.88**	**57.71**	**960.83**	**20.12**

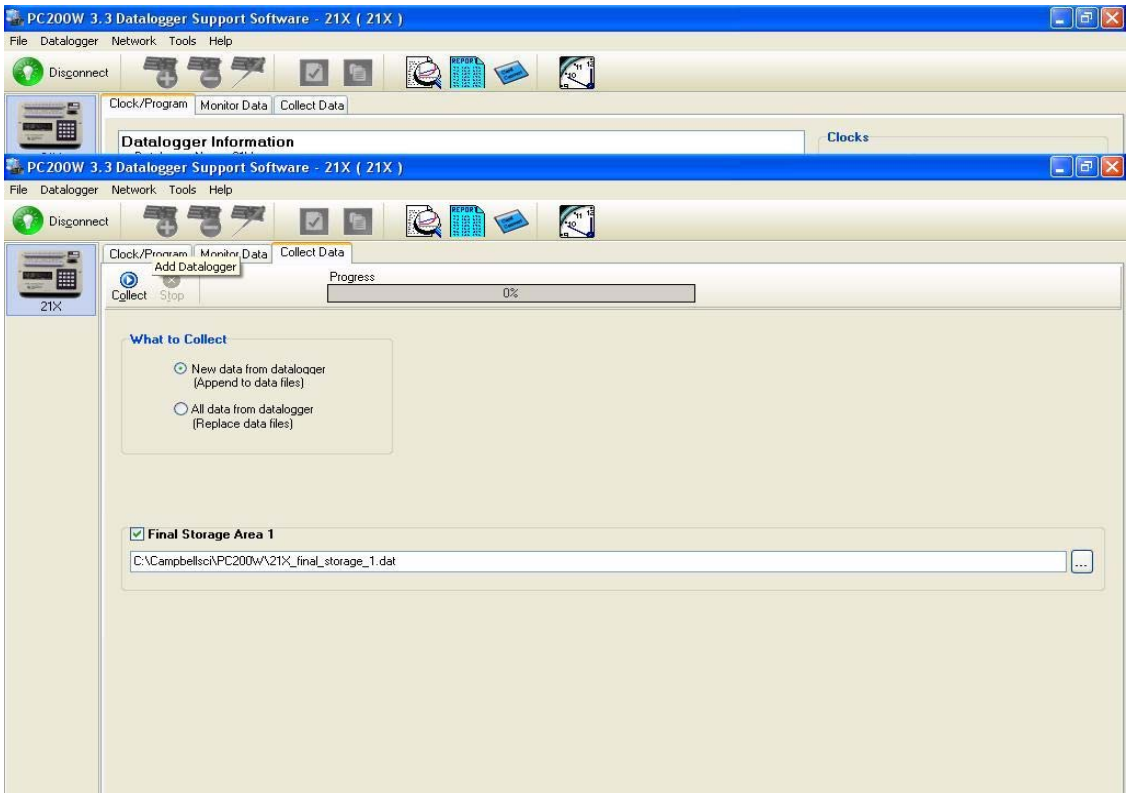
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’



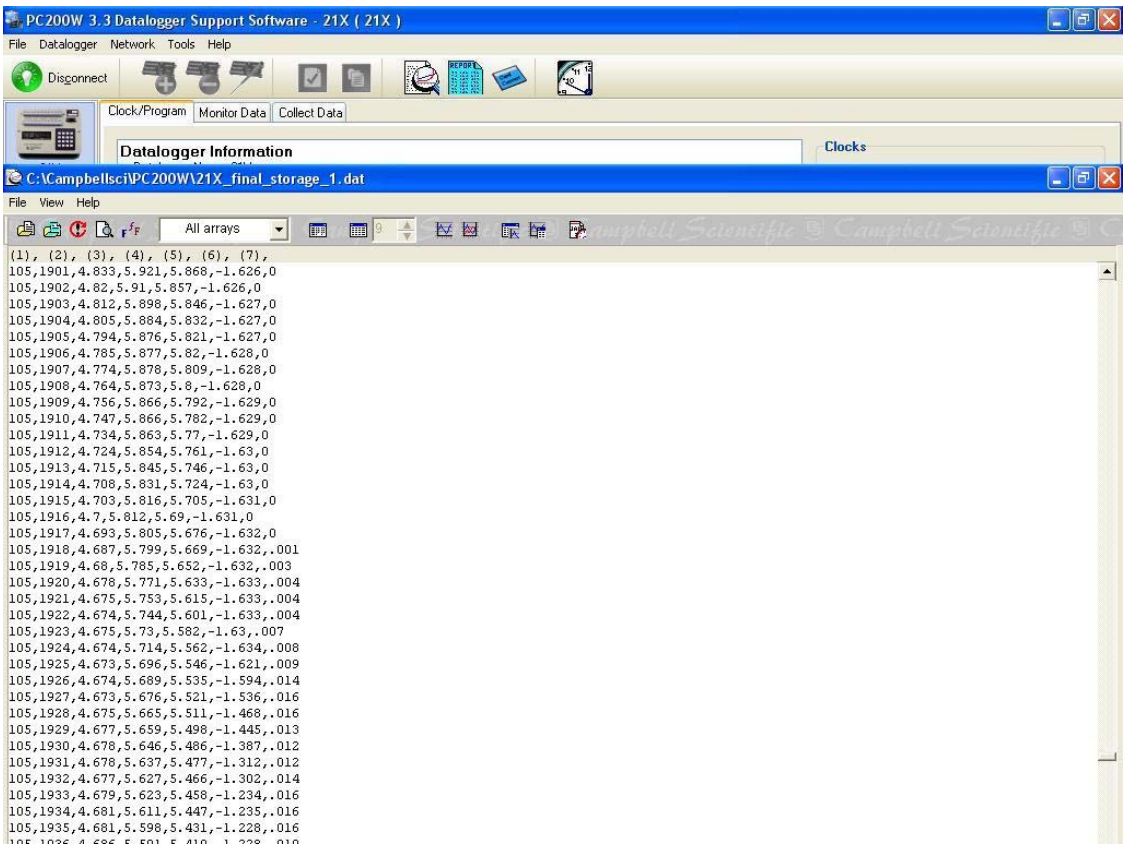
εικόνα 1: πρόγραμμα καταγραφής – συλλογής δεδομένων



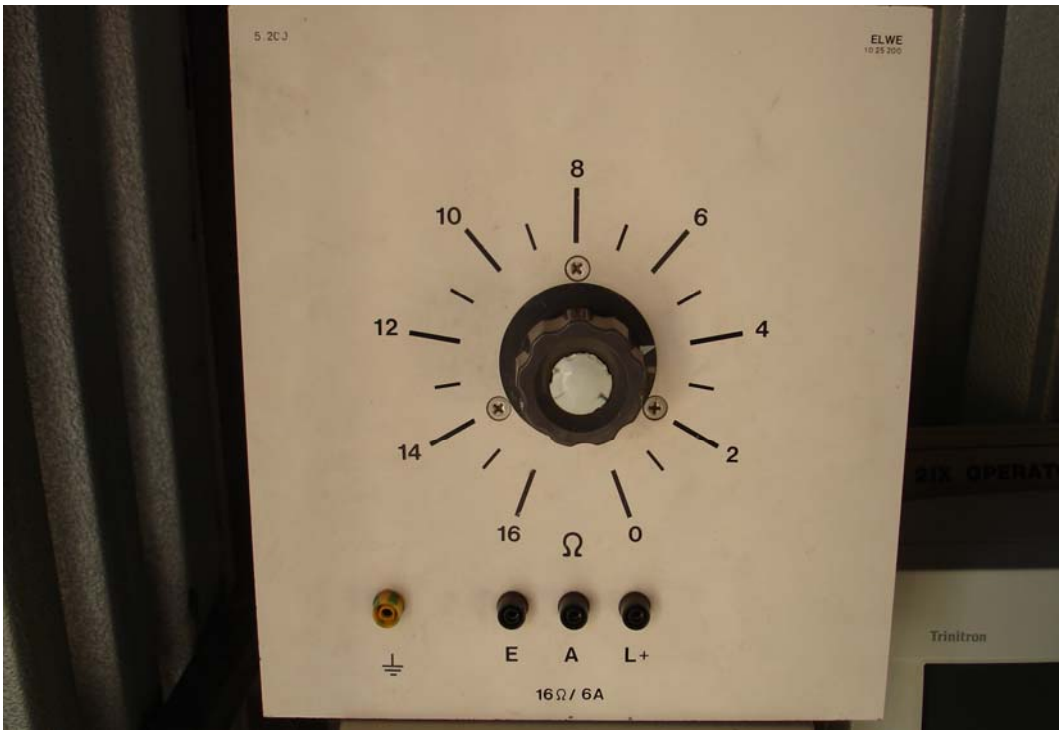
εικόνα 2: καταγραφή δεδομένων real time



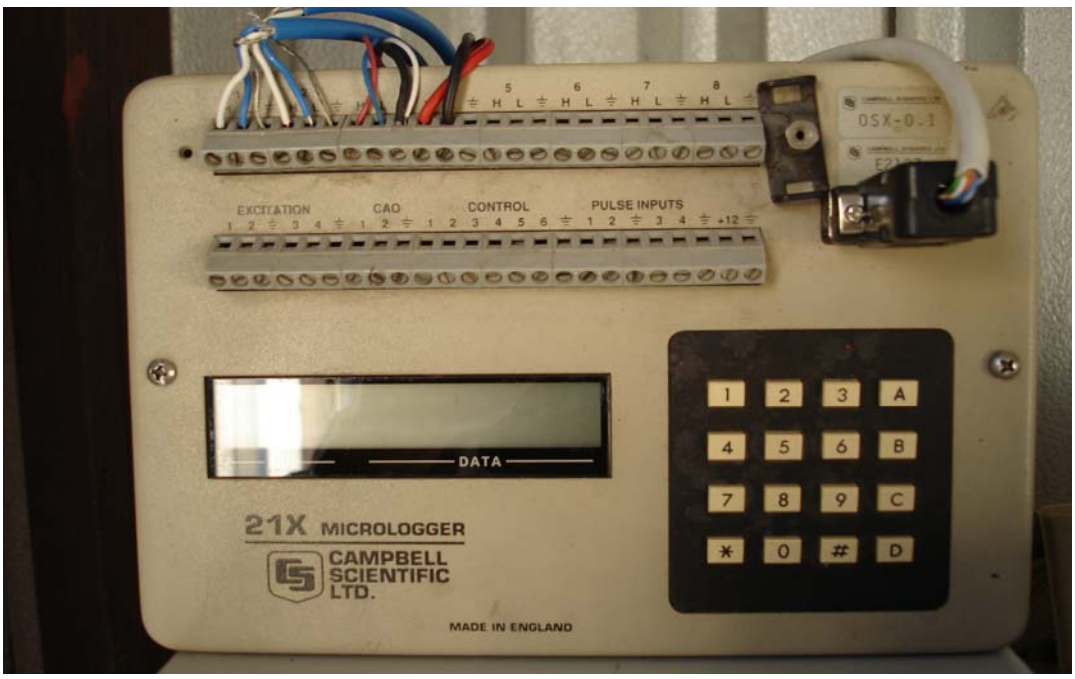
εικόνα 3:αποθήκευση δεδομένων



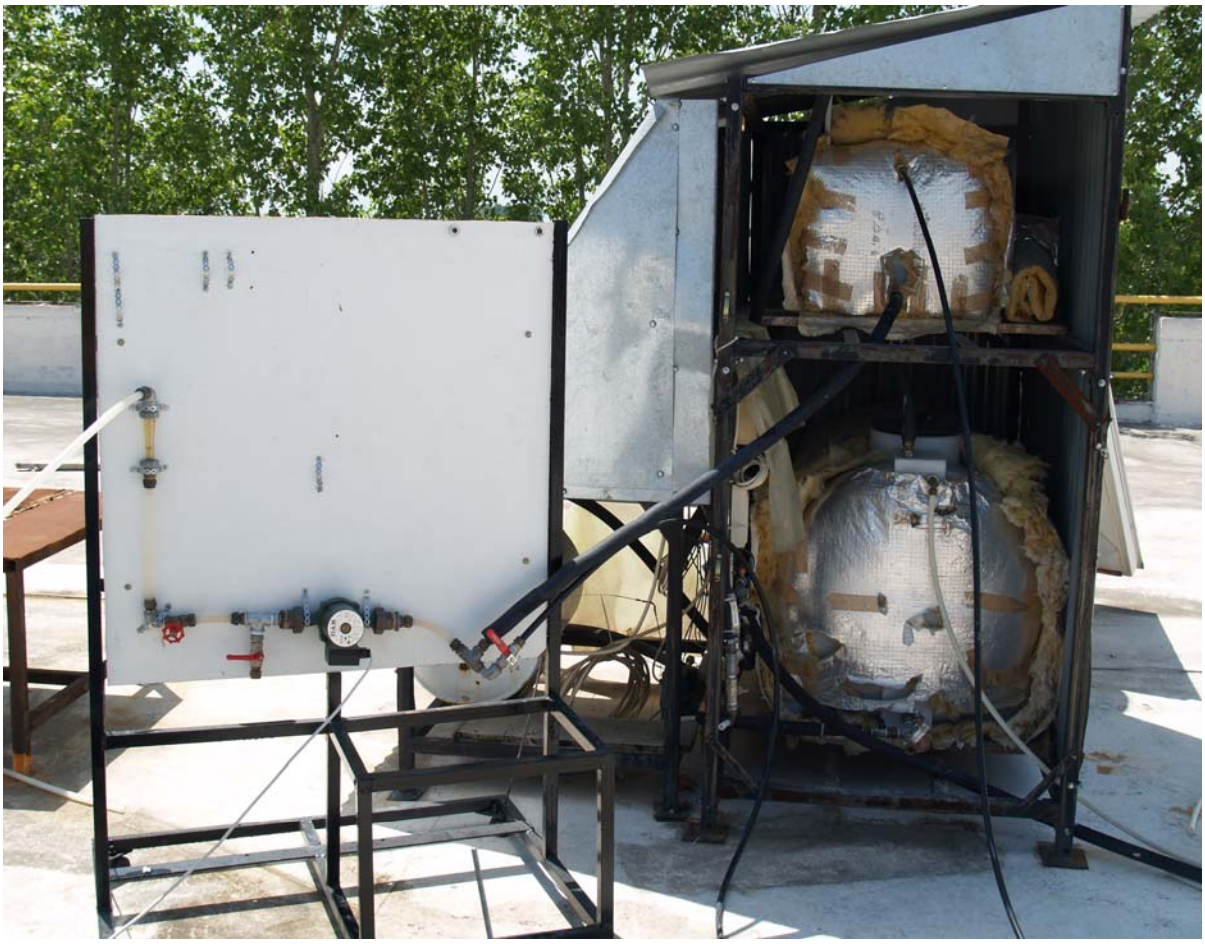
εικόνα 4:αποτύπωση και αποθήκευση δεδομένων



εικόνα 5:ελεγχόμενη αντίσταση



εικόνα 6:συσκευή συλλόγης – καταγραφής δεδομένων



εικόνα 8:διάταξη μέτρησης ροής ψυκτηκού υγρού,ανακυκλοφορίας και αποθήκευσης

εικόνα 9:πλήρης διάταξη της συσκευής

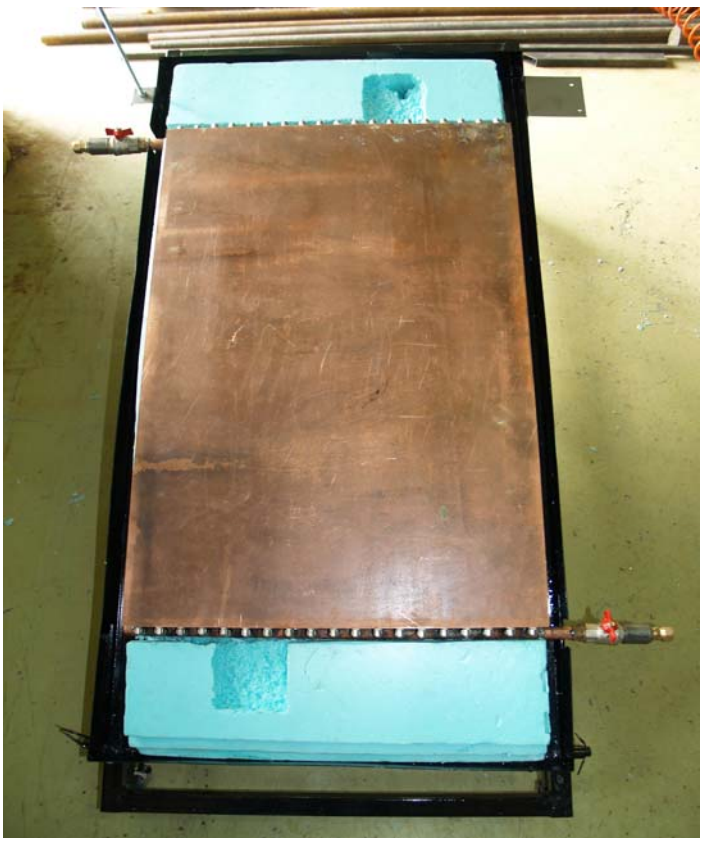
εικόνα 10:ροόμετρο

εικόνα 11:συσκευή ανακυκλοφορίας ψυκτικού υγρού

Εικόνα 12:δοχεία συλλογής ύδατος

Εικόνα 13 : συσκευή μέτρησης ηλιοφάνειας

εικόνα 14:διάταξη κατά την πειραματική διαδικασία



εικόνα 15:συλλεκτήρια επιφάνεια χαλκού

Εικόνα 16:Γυάλινη προσθήκη (υαλοπίνακας)

Εικόνα 17:Γωνία συνδέσεως

Εικόνα 18:Χαλκοσωλήνας

Εικόνα 19 : βάση εναπόθεσης συλλεκτήριας πλάκας & φωτοβολταϊκού πάνελ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’

ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Στάνταρντ διμοσιευμένα στο International Electrotechnical Commission. IEC Central Office, **3. rue de Varembe'**, P.O. Box **131**, CH1211 GENEVA20, **Switzerland. http**: // www.iec.ch/

IEC 603647712:2002. Electrical installations of buildings. Part 7
712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems.

IEC 60891:1987. Procedures for temperature and irradiance corrections to measured IV characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices.

IEC 609041:1987. Photovoltaic devices, Part 1: Measurement of photovoltaic currentvoltage characteristics.

IEC 609042: 1989. Photovoltaic devices. Part 2: Requirements for reference solar cells.

IEC 609043: 1998. Photovoltaic devices. Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.

IEC 609045: 1996. Photovoltaic devices. Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open circuit voltage method.

IEC 609046: 1994. Photovoltaic devices. Part 6: Requirements for reference solar modules.

IEC 609047: 1987. Photovoltaic devices. Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device.

IEC 609048: 1998. Photovoltaic devices. Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device.

IEC 609049: 1995. Photovoltaic devices, Part 9: Solar simulator performance requirements.

IEC 6090410: 1998. Photovoltaic devices. Part 10: Methods of linearity measurement.

IEC 61 173:1992. Over voltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems. Guide.

IEC 61 194:1992. Characteristic parameters of standalone photovoltaic (PV) systems

IEC 6121 5: 1993. Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules design qualification and type approval.

IEC 61277:1995. Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems. General and guide.

IEC 61345:1998. UV test for photovoltaic (PV) modules.

IEC 61427:1999. Secondary cells and batteries for solar photovoltaic energy systems. General requirements and methods of test.

IEC 61646: 1996. Thinfilm terrestrial photovoltaic (PV) modules – design qualification and type approval.

IEC 61683:1999. Photovoltaic systems. Power conditioners. Procedure for measuring efficiency

IEC 61 701:1995. Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules

IEC 61702:1995. Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems

IEC 61721:1995. Susceptibility of a photovoltaic (PV) module to accidental impact damage (resistance to impact test).

IEC 61 724: 1998. Photovoltaic system performance monitoring. Guidelines for measurement, data exchange and analysis.

IEC 61 725:1997. Analytical expression for daily solar profiles IEC 61 727:1995. Photovoltaic (PV) systems. Characteristics of the utility interface.

IEC 61829:1995. Crystalline silicon photovoltaic (PV) array. Onsite measurement of IV characteristics.

IEC/TR2 61836:1997. Solar photovoltaic energy systems Terms and symbols.

IEC/PAS 62 1 1 1 : 1999. Specifications for the use of renewable energies in rural decentralized electrification.

IEC 6121 5 Ed. 2.0 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules Design qualification and type approval.

IEC 62 1 1 6. Testing Procedure of Islanding Prevention Measures for Grid Connected Photovoltaic Power Generating Systems.

IEC 61727 Ed. 2 . 0 Characteristics of the utility interface for photovoltaic (pv) systems.

IEC 617301 Ed. 1.0 Photovoltaic module safety qualification Part
1: Requirements for construction.

IEC 617302 Ed. 1.0 Photovoltaic module safety qualification Part

2: Requirements for testing.

IEC 61 836 TR Ed. 2.0 Solar photovoltaic energy systems Terms and symbols.

IEC 6 1 8 5 3 Ed. 1.0 Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules.

IEC 62093 Ed. 1 .O Balanceofsystem components for photovoltaic systems –Design qualification natural environments.

IEC 62108 Ed. 1.0 Concentrator photovoltaic (PV) receivers and modules Design qualification and type approval.

IEC 62 109 Ed. 1.0 Electrical safety of static inverters and charge controllers for use in photovoltaic (PV) power systems.

IEC 62 1 16 Ed. 1 .O Testing procedure Islanding prevention measures for power conditioners used in grid connected photovoltaic (PV) power generation systems.

IEC 62124 Ed. 1.0 Photovoltaic (PV) stand alone systemsDesign verification.

IEC 62 1 4 5 Ed. 1 .O Crystalline silicon PV modules Blank detail specification.

IEC 62234 Ed. 1.0 Safety guidelines for grid connected photovoltaic (PV) systems mounted on buildings.

IEC 62253 Ed. 1.0 Direct coupled photovoltaic pumping systems – Design qualification and type approval.

IEC 62257 Ed. 1 .O Recommendations for the use of renewable energies in rural decentralized electrification.

IEC 6 2 2 5 7 1 TS Ed, 1 . 0 Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification Part 1: General introduction to rural electrification.

IEC 6 2 2 5 7 2 TS Ed. 1.0 Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification Part 2: From requirements to a range of electrification systems.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ’

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. http://www.pvpower.com/

2. http://www.solarbuzz.com
3. http://www.solaraccess.com/
4. http://www.solarenergy.org/
5. http://www.ieapvps.org/
6. http://www.ojaservices.nl/iea pvps/pvpower/home.htm
7. http://www.pvresources.com
8. http://www.censolar.es
9. http://www.ises.org/ises .nsf
10. http://www.nrel.gov/
11. http://www.seia.org/
12. http://www.pv.unsw.edu.au/
13. http://www.eurosolar.org
14. http://www.sodais.com
15. http://www.satellight.com
16. http://rredc.nrel.gov/solar/
17. http://www.pv.bnl,gov
18. http://www.jxj.com/yearbook/index.html
19. http://www.ioffe.rssi.ru/SVA/NSM/Semicond/
20. http://www.semiconductors.co.uk/
21. http://www.solarweb.net
22. http://www.solarweb.net/