



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (ΥΑΦ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΑΚΟΥΡΙΩΤΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

ΧΑΝΙΑ, 2013

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αναπλ. Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ
Επικ. Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν μία τεχνολογία που μπορεί να μετατρέπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η απόδοση τους επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, ένας εκ των οποίων είναι και η θερμοκρασία. Είναι γνωστό πως με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η απόδοση του Φ/Β οπότε και κρίνεται αναγκαία η αποτελεσματική ρύθμιση της. Η μέθοδος ψύξης που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία ήταν αυτή της παθητικής ψύξης του Φ/Β με τη χρήση παραφίνης με αλλαγή φάσης στους 27°C (RT27) ως υλικό αλλαγής φάσης. Μετρήθηκαν οι τιμές έντασης (I) και τάσης (V) και θερμοκρασίας τόσο για το Φ/Β αναφοράς όσο και για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ. Κατ' αυτόν τον τρόπο εξήχθησαν και οι αντίστοιχες αποδόσεις. Το τελικό συμπέρασμα ήταν ότι με την αυτήν την μέθοδο μπορεί να ελεγχθεί η θερμοκρασία λειτουργίας του Φ/Β με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του.

Abstract

Photovoltaic (PV) modules convert electromagnetic radiation into electricity. Their performance is affected by various factors, one of which is temperature. It is known that with the increase in temperature the efficiency of pv decreases and so it is necessary to effectively regulate it. The cooling method applied in this work was that of the passive cooling of the PV using paraffin wax with phase change at 27 °C (RT27) as a phase change material (PCM). Current (I), voltage (V) and temperature were measured for both the reference PV and for the PV-PCM system. In this way the respective performances were extracted. The final conclusion was that by this method the operating temperature of the module can be effectively controlled resulting to an increase of its performance.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
Υλικά Αλλαγής Φάσης (Phase Change Materials/ ΥΑΦ)	6
1.1 Αλλαγή φάσης	6
1.2 Υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ)	7
1.3 Κατηγοριοποίηση ΥΑΦ	8
1.4 Οργανικά υλικά	9
1.4.1 Παραφίνες	10
1.4.2 Λιπαρά Οξέα	10
1.5 Ανόργανα Υλικά	11
1.6 Κατηγοριοποίηση βάσει θερμοκρασίας αλλαγής φάσης	11
1.7 Χαρακτηριστικά των ΥΑΦ	12
1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατηγοριών ΥΑΦ	13
1.9 Εφαρμογές των ΥΑΦ	14
1.10 Αποθήκευση των ΥΑΦ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	16
2.1 Λειτουργία των Φ/Β	16
2.2 Τύποι ηλιακών κυψελών και πλαίσια	17
2.3 Φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες	18
2.4 Χρήσεις	19
2.5 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ)	20
2.6 Απόδοση Φ/Β πλαισίου	20
2.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση [8]	22
2.7.1 Συντελεστής γήρανσης	22
2.7.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες	22
2.7.3 Θερμοκρασία ΦΒ κυψέλης	22
2.7.4 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής	23
2.8 Μέθοδοι ψύξης Φ/Β	23
2.8 .1 Ψύξη Φ/Β με νερό	23
2.8 .2 Ψύξη Φ/Β με αέρα	23

2.8.3 Υπάρχουσα εφαρμογή	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	25
ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Φ/Β- ΥΑΦ	25
3.1 Εφαρμογή σε Πακιστάν και Ιρλανδία	25
3.2 Εφαρμογή στη Σικελία.....	26
3.3 Εφαρμογή με δύο ΥΑΦ.....	28
3.4. Παραλλαγή εφαρμογής με δύο ΥΑΦ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	31
4.1 Πειραματική διάταξη	31
4.2 Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός.....	36
4.3 Χαρακτηριστικά Φ/Β.	37
4.4 Χαρακτηριστικά ΥΑΦ.....	38
4.5 Κόστος	39
4.6 Επιλογή χώρου	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	40
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	40
5.1 Πειραματική Διαδικασία	40
5.2 Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων	41
5.3 Φωτογραφίες από θερμοκάμερα	62
5.4 Απόδοση του Συστήματος.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	78
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	78
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων	78
6.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	79
6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας γίνεται όλο και πιο αναγκαία η μετάβαση από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, δηλαδή τα ορυκτά καύσιμα, σε εναλλακτικές, φιλικές προς το περιβάλλον και αειφόρες. Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ενέργειας και το κόστος του είναι ήδη ανταγωνιστικό με τα συμβατικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής.

Το φωτοβολταϊκό, δεν μετατρέπει το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοσή του κυμαίνεται από 5-21% ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του (τα άμορφα 5-8% και τα μονοκρυσταλλικά 14-21%). Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή του είναι η θερμοκρασία. Με την άνοδο της θερμοκρασίας, η απόδοση του φωτοβολταϊκού μειώνεται, έχοντας ως ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας τους 25°C. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την προσπάθεια αποτελεσματικής ρύθμισης της θερμοκρασίας ενός άμορφου μικροκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού με τη χρήση ενός υλικού αλλαγής φάσης (παραφίνη RT27). Αυτή η μέθοδος ψύξης αποτελεί μία νέα πειραματική τεχνολογία στο χώρο των φωτοβολταϊκών καθώς έχει τη δυνατότητα να διατηρεί τη θερμοκρασία τους σε χαμηλά επίπεδα. Τα υλικά αλλαγής φάσης εισέρχονται στην καθημερινότητα μας καθώς είναι εύχρηστα και γίνεται προσαρμογή τους ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών αναπτύσσεται σε καθημερινή βάση. Δημιουργούνται νέα, πιο αποδοτικά συστήματα, υβριδικά για διπλή εκμετάλλευση και το μόνο που είναι σίγουρο είναι πως τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται μέχρι να επιτύχουν τη μέγιστη δυνατή μετατροπή ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Υλικά Αλλαγής Φάσης (Phase Change Materials/ ΥΑΦ)

1.1 Αλλαγή φάσης

Ως αλλαγή φάσης ορίζεται η διαδικασία μετάβασης ενός θερμοδυναμικού συστήματος από τη μία φάση σε κάποια άλλη. Οι αλλαγές φάσης περιλαμβάνουν τις μεταβάσεις μεταξύ της στερεής, υγρής και αέριας φάσης μιας ουσίας λόγω αλλαγών στις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Επίσης περιλαμβάνουν τη μετάβαση μεταξύ διαφορετικών μοριακών δομών, ιδίως για στερεά, όπως για παράδειγμα τη μετάβαση από μία άμορφη δομή σε μία κρυσταλλική ή τη μετάβαση μεταξύ δύο διαφορετικών κρυσταλλικών δομών.

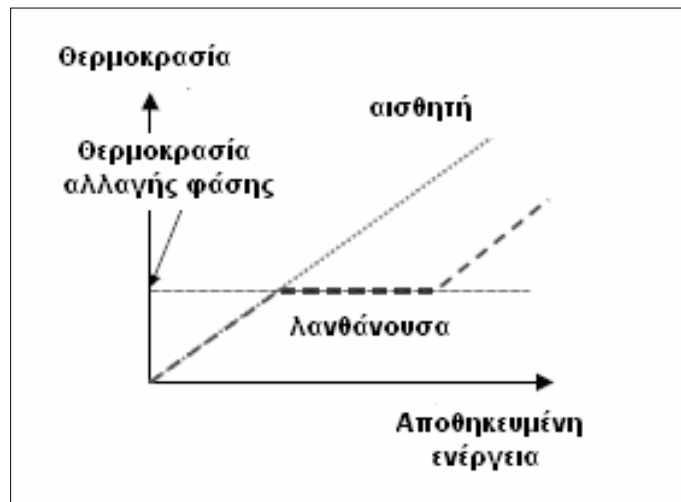
Οι αλλαγές φάσης που παρατηρούνται είναι:

- στερεού και υγρού \rightarrow τήξη
- στερεού και αερίου \rightarrow εξάχνωση
- υγρού και στερεού \rightarrow στερεοποίηση
- υγρού και αερίου \rightarrow βρασμός/ατμοποίηση
- αερίου και στερεού \rightarrow εναπόθεση
- αερίου και υγρού \rightarrow συμπύκνωση
- αερίου και πλάσματος \rightarrow ιονισμός
- πλάσματος και αερίου \rightarrow ανασυνδυασμός

Η μεταβολή ενθαλπίας τήξης, γνωστή και ως θερμότητα τήξης (λανθάνουσα), είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να απορροφηθεί ή να εκλυθεί, ώστε 1 gr ουσίας να μεταβεί φάση από στερεά σε υγρή ή/και αντίστροφα. Ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσης και η θερμοκρασία στην οποία αυτή εμφανίζεται, ονομάζεται σημείο τήξης. [Γκέκας, (2000)]

Όταν αφαιρείται θερμική ενέργεια από ένα υλικό, η θερμοκρασία του πέφτει. Αντίστοιχα, όταν προσφέρεται θερμότητα σε ένα υλικό, η θερμοκρασία του αυξάνει. Στο σημείο μετάβασης μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, απαιτείται περισσότερη θερμότητα. Για να υπάρξει μετάβαση από υγρό σε στερεό, τα μόρια της ουσίας πρέπει να τοποθετηθούν αυστηρώς διατεταγμένα, και για να γίνει αυτό, θα πρέπει να αφαιρεθεί θερμότητα, ώστε να μεταπέσει το σύστημα σε μία χαμηλότερη

ενεργειακή στάθμη. Αντιθέτως, για να έχουμε την αντίστροφη διαδικασία και τη μετάβαση από την στερεή κρυσταλλική μορφή στην υγρή χρειάζεται απορρόφηση θερμότητας έτσι ώστε να σπάσουν οι δεσμοί και να αποδεσμευθούν τα μόρια του υλικού.



Εικόνα 1.1.1 : Αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας [Mehling and Cabeza, (2008)]

1.2 Υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ)

Τα υλικά που αλλάζουν φάση αποθηκεύοντας ενέργεια σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας σε ένα μέρος του θερμοκρασιακού τους εύρους και συναλλάσσοντας θερμότητα με τη μορφή αισθητής θερμότητας σε ένα άλλο μέρος, ονομάζονται Υλικά Αλλαγής Φάσης(ΥΑΦ)ή Phase Change Materials (PCMs). [Λύκος Δημήτριος (2007)]

Όλα τα υλικά κατά την αλλαγή κατάστασης τους μεταξύ φάσεων αποθηκεύουν ή αποδίδουν ενέργεια προς το περιβάλλον. Μόνο όμως ένας μικρός αριθμός τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές σε συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Ως υποψήφια ΥΑΦ θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν φάση μεταξύ στερεής και υγρής κατάστασης, αν και υπάρχουν αναφορές σε ερευνητικό επίπεδο για υλικά που μεταβαίνουν από την υγρή στην αέρια φάση στα αποτελέσματα των οποίων όμως παρατηρούνται προβλήματα κατά τη χρήση αυτών των υλικών. Η αλλαγή φάσης θα πρέπει να είναι πλήρως αναστρέψιμη με μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας και μικρή αλλαγή όγκου. Θα πρέπει να παρουσιάζουν χημική

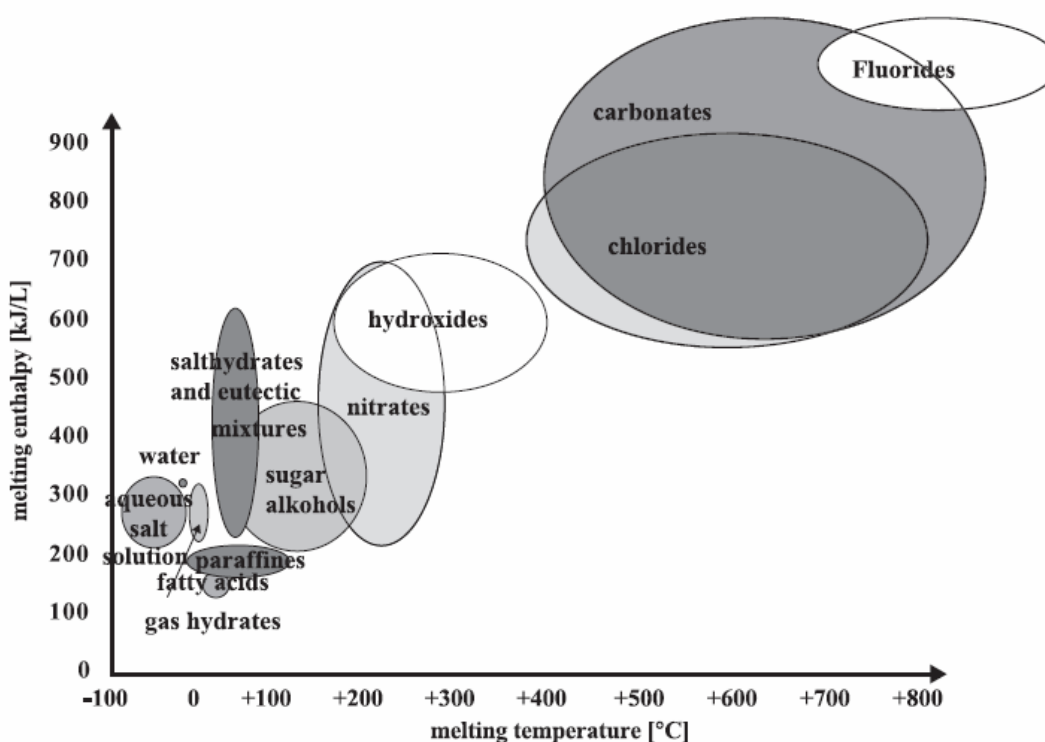
σταθερότητα, αδράνεια και πλήθος άλλων κριτηρίων συμπεριλαμβανομένων και οικονομικών παραγόντων [Μανδηλαράς Ι.(2006)].

Τα υλικά που μεταβαίνουν από τη στερεή στην υγρή κατάσταση και αντίστροφα, αυξάνουν τη θερμοκρασία τους όσο απορροφούν θερμότητα. Σε αντίθεση όμως με τα αισθητής θερμότητας αποθηκευτικά υλικά, όταν τα ΥΑΦ φτάσουν στο θερμοκρασιακό επίπεδο αλλαγής φάσης (σημείο τήξης), τότε απορροφούν μεγάλα ποσά ενέργειας χωρίς παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας τους (λανθάνουσα θερμότητα). Τα ΥΑΦ, δηλαδή, απορροφούν και εκλύουν θερμότητα διατηρώντας μία σχεδόν σταθερή θερμοκρασία.

Το δημοφιλέστερο ΥΑΦ είναι το νερό, το οποίο κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Όμως λόγω ιδιοτήτων όπως η μεγάλη μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία του και το πολύ χαμηλό σημείο τήξης (Σ.Τ. 0°C), η χρήση του πάγου ως ΥΑΦ παρουσιάζει αρκετά προβλήματα. Έτσι, αναπτύχθηκαν υλικά με βάση το νερό ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματά του (μεγάλη τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας) αλλά να μην παρουσιάζουν τα λοιπά μειονεκτήματα. [Φωκιανού Παναγιώτα (2011)]

1.3 Κατηγοριοποίηση ΥΑΦ

Η βασική παράμετρος κατηγοριοποίησης των ΥΑΦ είναι τα συστατικά από τα οποία αποτελούνται (οργανικά ή μη οργανικά). Τα υλικά που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια είναι τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες, τα λιπαρά οξέα και εύτηκτα μίγματα οργανικών και μη οργανικών συστατικών.



Εικόνα 1.3.1:Τυπικές τιμές θερμοκρασίας κι ενθαλπίας τήξης ΥΑΦ, [Halime O. Paksoy (2007)].

1.4 Οργανικά υλικά

Τα οργανικά υλικά αντιπροσωπεύονται, κυρίως από τις παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά κεριά, τα οποία είναι μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως 25. Εξίσου σημαντικές κατηγορίες οργανικών υλικών είναι τα λιπαρά οξέα, εστέρες και αλκοόλες λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών. Τα εμπορικά προϊόντα οργανικών υλικών είναι αρκετά φθηνότερα από τα ένυδρα άλατα με μέτριες τιμές λανθάνουσας θερμότητας (περίπου 150 kJ/kg) και δυνατότητα παραγωγής για σχεδόν όλο το εύρος των θερμοκρασιών. Είναι χημικά αδρανή και σταθερά, χωρίς να εμφανίζουν διαχωρισμό φάσεων ή εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους. Δυστυχώς όμως εμφανίζουν χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, ιδιότητα που περιορίζει τις εφαρμογές τους (περίπου 0,2 W/m*K). Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι η αναφλεξιμότητά τους. [Ρίζος Νικόλαος, (2011)]

1.4.1 Παραφίνες

Παραφίνη είναι το σύννηθες όνομα για μια ομάδα αλκανικών υδρογονανθράκων μεγάλου μοριακού βάρους, με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n+2} , ($n > 20$) και κατατάσσονται στα οργανικά ΥΑΦ. Τα αλκάνια είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με το πλέον διαδεδομένο να είναι το μεθάνιο (CH_4).

Η ανθρακική αλυσίδα των κορεσμένων υδρογονανθράκων μπορεί να είναι γραμμική (C_nH_{2n+2}), ή με διακλαδώσεις (C_nH_{2n+2} , $n > 3$), ή κυκλικού σχήματος (C_nH_{2n} , $n > 2$). Η κατά IUPAC ονοματολογία των αλκανίων, ονομάζει υπό τον γενικό τίτλο αλκάνια, όλες τις περιπτώσεις που υποπίπτουν στις δύο πρώτες κατηγορίες, ενώ ονομάζει κυκλοαλκάνια αυτές που σχηματίζουν βρόχο. Αντίστοιχα τα αλκύλια, είναι μέρη ανθρακικής αλυσίδας, με έναν ελεύθερο δεσμό και ακολουθούν πιστά την ονοματολογία των αλκανίων (μεθύλιο, αιθύλιο, κλπ). [Αποστόλου Γεωργία, (2010)]

1.4.2 Λιπαρά Οξέα

Ως λιπαρό οξύ ονομάζεται ένα καρβοξυλικό οξύ, συνήθως με μακρά ανθρακική αλυσίδα, είτε κορεσμένη, είτε ακόρεστη. Καρβοξυλικά οξέα σαν το βουτυρικό οξύ (με 4 άτομα άνθρακα) θεωρούνται λιπαρά οξέα, παρά το ότι γενικότερα τα λιπαρά οξέα προέρχονται από φυσικά λίπη και έλαια και θεωρείται ότι έχουν τουλάχιστον 8 άτομα άνθρακα. Στη βιομηχανία παράγονται από την υδρόλυση των εσωτερικών δεσμών ενός λιπαρού ή βιολογικού ελαίου (π.χ. τριγλυκερίδια), με την αφαίρεση της γλυκερόλης.

Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα κορεσμένα και τα ακόρεστα. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα δεν περιέχουν καθόλου διπλούς δεσμούς ή άλλα λειτουργικά σύνολα κατά μήκος της ανθρακικής αλυσίδας (π.χ . Βουτυρικό οξύ: $CH_3(CH_2)2COOH$). Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα περιέχουν αλκύλια κατά μήκος της ανθρακικής αλυσίδας, δηλαδή υπάρχουν διπλοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων του άνθρακα (π.χ. Ολεϊκό οξύ: $CH_3(CH_2)7CH=CH(CH_2)7COOH$)).

Τα λιπαρά οξέα εμφανίζουν σημεία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα παρόμοια με αυτά των παραφινών. Το Βουτυρικό οξύ για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτιριακές εφαρμογές και έχει χρησιμοποιηθεί σε πειράματα, όμως το κόστος του είναι τουλάχιστον 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερο από την παραφίνη με αντίστοιχες θερμικές ιδιότητες.

1.5 Ανόργανα Υλικά

Τα ένυδρα άλατα είναι ο κύριος εκπρόσωπος ανόργανων υλικών, με ικανοποιητικές ιδιότητες (τιμή λανθάνουσας θερμότητας περίπου 250 kJ/kg και αγωγιμότητας περίπου 0,6 W/m*K), μέτριο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις παραφίνες αλλά υψηλό κόστος πώλησης σε σχέση με τις τιμές πώλησης των παραφινών λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό κάλυμμα και χρήση πρόσθετων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους. Τα ένυδρα άλατα χρησιμοποιούνται ως ΥΑΦ σε πλήθος πειραματικών εφαρμογών κι αυτό γιατί διαθέτουν σχετικά μεγάλο εύρος σημείων τήξης, σχεδόν από 0 έως 120°C, πράγμα που τα κάνει κατάλληλα για πολλές θερμικές εφαρμογές. Ο γενικός χημικός τύπος τους είναι M_nH_2O , όπου M είναι μία ανόργανη ουσία, ενυδατωμένη με n μόρια νερού, και σχηματίζει μία σύνθετη ουσία ικανή να αποθηκεύσει μεγάλο ποσό ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. [Πριγκηπάς Δημήτριος, (2012)]

Η αρχή λειτουργίας των ένυδρων αλάτων, βασίζεται στην αποβολή του κρυσταλλικού νερού, το οποίο αποβάλλεται όταν προσδοθεί θερμότητα στο άλας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό, αποθηκεύεται θερμότητα στο ΥΑΦ, η οποία αποβάλλεται με επανακρυστάλλωση του νερού του άλατος. Βασικά μειονεκτήματα των ανόργανων ΥΑΦ είναι, κυρίως για τα ένυδρα άλατα, η ασυμβατότητα τους με τα υλικά συσκευασίας. [Μαχαίρα Ελένη, (2010)]

1.6 Κατηγοριοποίηση βάσει θερμοκρασίας αλλαγής φάσης

Τα ΥΑΦ μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τη θερμοκρασία ή το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο λαμβάνει χώρα η αλλαγή φάσης, σε υλικά που αλλάζουν φάση κάτω από τους 15 °C και χρησιμοποιούνται για αποθήκευση ψύξης, σε εφαρμογές κλιματισμού ή σε μεταφορά ευπαθών υλικών (ιατρικές εφαρμογές) και σε υλικά που αλλάζουν φάση πάνω από τους 90 °C και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ψύξης με απορρόφηση. Όλα τα άλλα υλικά με ενδιάμεσες τιμές θερμοκρασίας αλλαγής φάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές θέρμανσης σε συνεργασία με ηλιακά συστήματα ή εφαρμογές εξομάλυνσης των φορτίων κλιματισμού καθώς και για αποθήκευση θερμότητας.

Τα σημεία τήξεως που απαιτούνται να έχουν τα επιλεχθέντα υλικά αποθήκευσης ενέργειας για κάποιες εφαρμογές είναι : [Λύκος Δημήτριος (2008)]

- Ηλιακά συστήματα θέρμανσης 25°C – 50°C
- Παθητικά ηλιακά συστήματα 21°C – 25°C
- Αποθήκευση ψύξης 4,5°C – 18°C.
- Παθητική αποθήκευση θερμότητας 16 °C -28 °C

1.7 Χαρακτηριστικά των ΥΑΦ

Η θερμοχωρητικότητα για όλα τα ΥΑΦ, ανεξαρτήτως αν πρόκειται για οργανικά ή ανόργανα, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα κάποιος νόμος που να περιγράφει τη μεταβολή της θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας και να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος υλικών. Επί του παρόντος χρησιμοποιείται η σύμβαση κατά την οποία οι δύο φάσεις (στερεή και υγρή) του υλικού αντιμετωπίζονται με δύο αντίστοιχες τιμές για τη θερμοχωρητικότητα, τιμές που θεωρούνται πρακτικά σταθερές για το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής στην οποία χρησιμοποιείται το υλικό.

Ακόμα όμως δεν υπάρχει σαφής απάντηση για την τιμή της θερμοχωρητικότητας στη διφασική περιοχή. Το μοναδικό κοινό σημείο που έχουν τα ΥΑΦ όσον αφορά τη θερμοχωρητικότητα, είναι ότι κατά κανόνα αποτελεί μια αύξουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας του υλικού.

Η τιμή της μέγιστης λανθάνουσας θερμότητας που μπορούν να αποθηκεύσουν τα ΥΑΦ ανά μονάδα μάζας, είναι δείκτης αποδοτικότητας για κάθε εφαρμογή, καθώς είναι επιθυμητή η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη αποθήκευση ανά μονάδα μάζας υλικού. Για να υπάρχει αποδοτική μεταφορά θερμότητας θα πρέπει το χρησιμοποιούμενο υλικό να έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα (k). Τα ΥΑΦ έχουν εν γένει μικρή τιμή θερμικής αγωγιμότητας, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα στις διάφορες εφαρμογές τους. Η τιμή θεωρείται πρακτικά σταθερή σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό φάσμα εφαρμογής. Λόγω της μικρής τιμής του k , ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στα ΥΑΦ θεωρείται μη αποδοτικός, καθώς απαιτούνται για γρήγορη και αποτελεσματική χρήση των εφαρμογών των ΥΑΦ, υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές. Το μειονέκτημα αυτό, ανάλογα πάντα με την εφαρμογή, μπορεί σε κάποιο βαθμό να αντιμετωπιστεί με αντίστοιχα μεγάλες επιφάνειες μετάδοσης θερμότητας.

Ως γνωστό η πυκνότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, οπότε κάθε υλικό που αλλάζει φάση, υπόκειται σε ογκομετρικές αλλαγές. Σε περίπτωση λοιπόν που υπάρχει ΥΑΦ σε κλειστή συσκευασία, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της ογκομετρικής αλλαγής και της συνεπαγόμενης μεταβολής της πίεσης στο εσωτερικό της συσκευασίας.

Οικολογικά, τα ΥΑΦ δεν αποτελούν κάποιο κίνδυνο προς το περιβάλλον. Τα κεριά της παραφίνης είναι οικολογικά ακίνδυνα, χωρίς κατά την απόρριψή τους, να αποτελούν κάποιο κίνδυνο για φυτά, ζώα ή μικροοργανισμούς. Έχουν κατηγοριοποιηθεί σαν ουσίες που δεν αποτελούν απειλή για το νερό και είναι 100% ανακυκλώσιμα. Επομένως δεν είναι ούτε τοξικά, ούτε επικίνδυνα προς την ανθρώπινη υγεία. Επεξεργασμένες τέτοιες παραφίνες ικανοποιούν και τις αυστηρότερες προϋποθέσεις ασφαλείας για επαφή με τρόφιμα και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων, σαν αυτούσια ή συστατικά υλικών συσκευασίας. Υπάρχουν όμως και ορισμένες εξαιρέσεις όπως για παράδειγμα το ΥΑΦ RT27 το οποίο αποτελεί μία παραφίνη που μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό σε παρατεταμένη επαφή με το δέρμα. [Φωκιανού Παναγιώτα (2011)]

1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατηγοριών ΥΑΦ

Συγκεντρωτικά για τις δύο βασικές κατηγορίες ΥΑΦ παρατίθενται τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας. [Λύκος Δημήτριος (2008)]

Οργανικά ΥΑΦ

Πλεονεκτήματα:

- Μη διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά
- Μικρός κίνδυνος ρύπανσης του νερού
- Χημική και θερμική σταθερότητα
- Χαμηλό κόστος αγοράς σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες ΥΑΦ
- Παραγωγή υλικών σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές (σκόνη, κόκκοι, πλάκες)

Μειονεκτήματα:

- Λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης χαμηλότερη από τα ανόργανα
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας χαμηλότερος από τα ανόργανα
- Αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (200 °C)
- Πυκνότητα χαμηλότερη από τα ανόργανα

Ανόργανα ΥΑΦ

Πλεονεκτήματα:

- Μεγαλύτερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης (σε σύγκριση με τα οργανικά)
- Μη αναφλέξιμα
- Πυκνότητα υψηλότερη από τα οργανικά

Μειονεκτήματα:

- Διαβρωτικά (απαραίτητη αποθήκευση υλικών σε ενισχυμένη συσκευασία)
- Διαχωρισμός των φάσεων (μεταβλητή τιμή διαλυτότητας με τη θερμοκρασία), δυνατή δημιουργία ιζήματος
- Αβέβαιη θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση
- Αρκετά μεγαλύτερο κόστος αγοράς από τα οργανικά
- Υδροσκοπικά υλικά με αποτέλεσμα εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους σε βάθος χρόνου αν μείνουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία

1.9 Εφαρμογές των ΥΑΦ

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες και τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών και διαφορετικών πεδίων. Συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση τους πραγματοποιείται σε φωτοβολταϊκά πλαίσια, σε συστήματα κλιματισμού, σε ηλιακά συστήματα, σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, σε μονάδες επείγουσας ψύξης, σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, σε οχήματα, σε μεταφορές αγαθών, στην ένδυση, σε ιατρικά προϊόντα και τέλος σε κτηριακές εφαρμογές (τοιχοποιία, συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης) [Simone Raoux et. al,(2009)].

1.10 Αποθήκευση των ΥΑΦ

Για την αποθήκευση των ΥΑΦ έχουν δημιουργηθεί ειδικά συστήματα ώστε να αποφθεχθούν προβλήματα συμβατότητας κατά την με διάφορα άλλα υλικά. Κάποια από τα συστήματα αποθήκευσης είναι η αποθήκευση σε δεξαμενές με εναλλάκτες θερμότητας, η αποθήκευση σε ειδικά δοχεία, η τοποθέτηση σε κάψουλες μεσαίου μεγέθους (μακροκάψουλες), η τοποθέτηση σε μικροκάψουλες και η τοποθέτηση σε τοιχοποιία.

Η συμβατότητα των ΥΑΦ με άλλα υλικά είναι σημαντική τόσο για τη διάρκεια ζωής του δοχείου ή της κάψουλας που φέρει το ΥΑΦ, όσο και για μία πιθανή διαρροή του τήγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο όπου μπορεί να προξενήσει προβλήματα. Τα πιο συνήθη προβλήματα αναφορικά με τη συμβατότητα των υλικών και τα ΥΑΦ είναι η διάβρωση των μετάλλων όταν έρθουν σε επαφή με ανόργανα ΥΑΦ, η απώλεια σταθερότητας δομής των πλαστικών όταν έρχονται σε επαφή με οργανικά ΥΑΦ και η μετακίνηση υγρών ή αερίων διαμέσου πλαστικών δοχείων, τα οποία επηρεάζουν τη δομή του περιεχόμενου ανόργανου ή οργανικού ΥΑΦ. [Ντάβου Έρικα,(2009)]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

2.1 Λειτουργία των Φ/B

Το βασικό στοιχείο της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Ο πυρήνας ενός Φ/B στοιχείου είναι μία επαφή p-n η οποία αποτελείται από δύο ημιαγωγούς πρόσμιξης p και n. Ο ημιαγωγός τύπου n (negative) είναι ένας ενδογενής ημιαγωγός (πχ πυρίτιο) στον οποίο έχουν προστεθεί άτομα ενός στοιχείου που έχει περισσότερα ηλεκτρόνια σθένους από τον ενδογενή ημιαγωγό (πχ σε άτομα του πυριτίου με 4 ηλεκτρόνια σθένους προστίθενται κάποια άτομα με 5 ηλεκτρόνια σθένους όπως το αρσενικό). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ημιαγωγού τύπου n «ευκίνητων» ηλεκτρονίων. Ο ημιαγωγός τύπου p (positive) είναι ένας ενδογενής ημιαγωγός στον οποίο έχουν προστεθεί άτομα ενός στοιχείου που έχει λιγότερα ηλεκτρόνια σθένους απ ότι το Si (πχ σε άτομα του πυριτίου με 4 ηλεκτρόνια σθένους προστίθενται κάποια άτομα με 3 ηλεκτρόνια σθένους όπως το βόριο ή το ίνδιο). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ευκίνητων θετικών φορτίων (οπών) μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ημιαγωγού τύπου p. Όταν δημιουργηθεί μια επαφή p-n ενός ενδογενή ημιαγωγού (Si) τότε τα ευκίνητα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό n- Si μεταβαίνουν με διάχυση στον ημιαγωγό p-Si. Αυτό συνεπάγεται ότι στο τμήμα του n- Si από όπου έφυγαν ηλεκτρόνια παραμένουν θετικά φορτισμένα ιόντα (οπές). Ομοίως οι ευκίνητες οπές p-Si περνούν με διάχυση στον ημιαγωγό n- Si αφήνοντας σε αυτό το τμήμα του ημιαγωγού αρνητικά φορτισμένα ιόντα. Έτσι δημιουργείται η περιοχή απογύμνωσης, δηλαδή ένα ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο. [Κανάκης Ιωάννης,(2011)]

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα Φ/B στοιχείο, ένα μέρος της ανακλάται κι ένα μέρος της εισέρχεται στο εσωτερικό του Φ/B. Από το ποσοστό που εισέρχεται στο εσωτερικό, ένα μέρος απορροφάται και το υπόλοιπο εξέρχεται από το Φ/B στοιχείο. Το ποσοστό της απορροφούμενης Η/Μ ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και το είδος του υλικού. Λόγω της απορροφούμενης από το Φ/B στοιχείο ακτινοβολίας δημιουργούνται σε όλο το μήκος της επαφής p-n επιπλέον ηλεκτρόνια αγωγιμότητας και οι αντίστοιχες οπές. Αυτοί οι ευκίνητοι ηλεκτρικοί φορείς τίθενται σε κίνηση από το ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στην περιοχή απογύμνωσης και συνιστούν το λεγόμενο φωτόρευμα. Η τιμή του φωτορεύματος

είναι ευθέως ανάλογη του πλήθους των απορροφούμενων φωτονίων και αυτό με τη σειρά του είναι ανάλογο με το πλήθος των προσπιπτόντων φωτονίων και συνεπώς με την πυκνότητα ισχύος της H/M ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο Φ/B στοιχείο.

2.2 Τύποι ηλιακών κυψελών και πλαίσια

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες

1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.2.

2. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/B στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/B πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια. [Αποστόλου Αριστοτέλης, Ζαφειρίου Λάζαρος, (2010)]

Στα πλεονεκτήματα των λεπτών πλαισίων τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοσή τους, η οποία περιορίζεται στο 5-10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/B πλαισίων.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

- (α) Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- (β) Αντιστροφέας (inverter) .Είναι συσκευή η οποία μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγουν τα Φ/Β panels σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για οικιακή χρήση.
- (γ) Στοιχείο κεντρικής σύνδεσης (junction box).
- (δ) Μπαταρίες και εφεδρική γεννήτρια (υποσύστημα αποθήκευσης)- πλέον δεν χρησιμοποιούνται, εκτός σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπως είναι π.χ. οι Φάροι, διαφορετικά η σύνδεση του panel γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΗ.

2.3 Φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 in) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm X 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την επιθυμητή τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία. [Φωκιανού Παναγιώτα (2011)]

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία 1 KW/m^2
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (W).

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν τη χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιομορφίες [Αποστόλου, Ζαφειρίου (2010)]

2.4 Χρήσεις

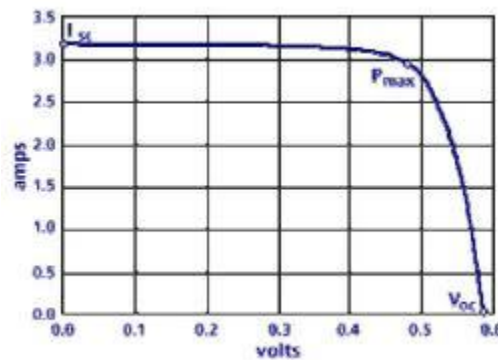
Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κλπ.

Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο) [Lampridis et al. (2006)].

2.5 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ)

Για την καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φωτοβολταϊκού πρέπει να προσαρμόσουμε την αντίσταση του καταναλωτή ώστε η τάση και το ρεύμα σε αυτόν να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης λειτουργίας. Το συμπέρασμα αυτό γίνεται εμφανές αν στην καμπύλη I-V κατασκευάσουμε και την καμπύλη της ισχύος σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού, $P = f(V)$. Προφανώς στις ακραίες συνθήκες για τάση μηδέν και τάση ίση με την V_{oc} , η παρεχόμενη ισχύς είναι μηδέν συνεπώς είναι αναμενόμενο η καμπύλη της ισχύος να εμφανίζει μέγιστο, το οποίο παρουσιάζεται κοντά στο σημείο που αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος [Τσούτσος Θεοχάρης, (2008)].



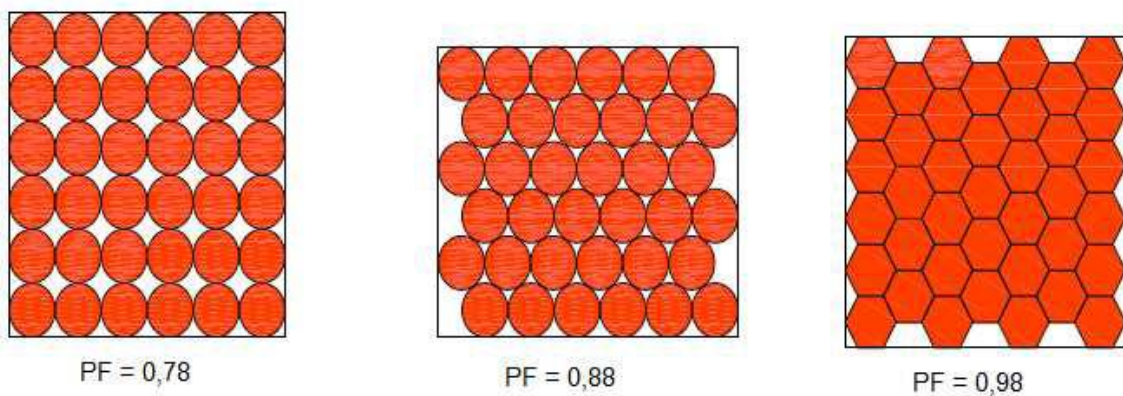
Εικόνα 2.5.1: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

2.6 Απόδοση Φ/B πλαισίου

Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης ενός Φ/B πλαισίου, εμβαδού A, προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $G \times A$, όπου G η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου: Εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής του, την θερμοκρασία των Φ/B κυψελών και την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση τους είναι μικρότερη της αντίστοιχης της Φ/B κυψέλης (Φ/B στοιχείο) εργαστηριακής παραγωγής επειδή:

- 1.Υπάρχει η μη πλήρης κάλυψη της επιφάνειας του από Φ/B κυψέλες, η οποία καθορίζεται από τον παράγοντα κάλυψης (PF-Packing Factor), που αποτελεί το πηλίκο της πραγματικής επιφάνειας των Φ/B κυψελών προς την επιφάνεια του Φ/B πλαισίου.



Εικόνα 2.6.1: Κάλυψη Φ/Β κυψελών

2. η ανομοιογένεια των Φ/Β κυψελών που συνθέτουν το Φ/Β πλαίσιο και

3. η ανακλαστικότητα του υαλοπίνακα του πλαισίου.

Η υψηλή θερμοκρασία των Φ/Β στοιχείων του πλαισίου και η εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής της κυψελίδας καθώς και η ρύπανση της επιφάνειας του, όπως π.χ. από τη σκόνη , μειώνουν την ενεργειακή απόδοση του. Εν συντομία οι κυριότερες απώλειες που συντελούν στην μείωση του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης του Φ/Β πλαισίου είναι:

- Η γήρανση του Φ/Β πλαισίου
- Οι απώλειες οπτικού δρόμου
- Στις απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής
- Η θερμοκρασία του σώματος κυψέλης

2.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση

2.7.1 Συντελεστής γήρανσης

Αφορά στη μείωση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων στο χρόνο ζωής τους και εκφράζεται συνήθως με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσής τους άρα και της ισχύος αιχμής και οφείλεται κυρίως σε υπερθερμάνσεις των Φ/Β κυψελών που αλλοιώνουν την δομή του υλικού τους.

2.7.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Αποτελούν όλες εκείνες τις απώλειες που καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με τις πρότυπες συνθήκες, λόγω των παρακάτω αιτιών:

- Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας Φ/Β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC.
- Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1,5 (STC)
- Απώλειες λόγω διαφοροποίησης της πόλωσής
- Απώλειες λόγω χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
- Καθαρότητα όψεως του Φ/Β πλαισίου. [Γκαγτζή Χ. Α., Κατριάδακη Κ. Ι.(2008)]

2.7.3 Θερμοκρασία ΦΒ κυψέλης

Περιγράφει τη διαφοροποίηση της απόδοσης του Φ/Β πλαισίου, λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψέλης σε σχέση με την θερμοκρασία της στις πρότυπες συνθήκες (STC).

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Στο Φ/Β που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα η πτώση της απόδοσης ανά °C είναι 0,24%/ °C. Ο συντελεστής είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.7.4 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής

Περιγράφει τις απώλειες που προέρχονται από την δίοδο αντεπιστροφής που τοποθετείται για να αποτρέπεται η εκφόρτιση του συσσωρευτή διαμέσου της Φ/Β συστοιχίας όταν αυτή δεν φωτίζεται.

2.8 Μέθοδοι ψύξης Φ/Β

Όπως είναι γνωστό καταλυτικός παράγοντας για την απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου είναι η θερμοκρασία. Όσο η θερμοκρασία του πλαισίου αποκλίνει από την ονομαστική, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μειώνεται, αφού μεγάλα ποσά ηλιακής ενέργειας μετατρέπονται σε θερμότητα. Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των πλαισίων σε επιθυμητά επίπεδα απαιτείται ψύξη των Φ/Β η οποία επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας συνήθως συστήματα νερού ή αέρα, ενώ σε πειραματικό στάδιο βρίσκεται η χρήση ΥΑΦ.

2.8.1 Ψύξη Φ/Β με νερό

Μείωση της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση νερού το οποίο απορροφά τη θερμότητα από τη μονάδα και σταδιακά μειώνει τη θερμοκρασία της. Πρόκειται για υβριδικές διατάξεις που με τη μέθοδο της απαγωγής θερμαίνουν το νερό προς χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα διατηρείται χαμηλή θερμοκρασία στα πλαίσια. Η χρήση του νερού ως ρευστού απολαβής της θερμότητας είναι αποδοτική όλο το έτος, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα [Τρυπαναγνωστόπουλος κ.α. (2001)], [Νούσια κ.α. (2001)].

2.8.2 Ψύξη Φ/Β με αέρα

Αντί για νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ψύξης ενός φωτοβολταϊκού ο αέρας. Η διάταξη με την οποία ψύχεται το Φ/Β με αέρα είναι απλούστερη και οικονομικότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη για ψύξη με νερό, είναι όμως λιγότερο αποδοτική. Τα υβριδικά αυτά συστήματα έχουν περιορισμένες

δυνατότητες εφαρμογής όταν ο αέρας έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20° C [Τρυπαναγνωστόπουλος κ.α. (2001)],[Νούσια κ.α. (2001)].

2.8.3 Υπάρχουσα εφαρμογή

Μία εφαρμογή ψύξης Φ/Β με αέρα πραγματοποιήθηκε από τους Τρυπαναγνωστόπουλο κ.α. (2001) και αφορά την βελτιστοποίηση υβριδικών Φ/Β-Thermal συστημάτων τα οποία όταν προσαρμοστούν στην πρόσοψη ενός κτηρίου μπορούν αποτελεσματικά να παράγουν και ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και να παρέχουν θερμότητα στον εσωτερικό χώρο. Κατασκευάστηκαν μοντέλα που τροποποιούσαν τα κανάλια στα οποία διερχόταν ο αέρας ως προς το πάχος, τη κλίση, το βάθος των καναλιών και τον τρόπο εξαγωγής του αέρα από αυτά. Το τελικό αποτέλεσμα της εργασίας ήταν πως η τοποθέτηση ενός λεπτού φύλου αλουμινίου στο κέντρο και κατά μήκος του αγωγού μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του Φ/Β-T συστήματος με πολύ χαμηλό κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Φ/Β- ΥΑΦ

3.1 Εφαρμογή σε Πακιστάν και Ιρλανδία

Οι Hasan et. al. (2010) διεξήγαγαν μια σειρά πειραμάτων χρησιμοποιώντας 5 διαφορετικά είδη υλικών αλλαγής φάσης (εικόνα 3.1.1) σε 4 συστήματα Φ/Β-ΥΑΦ με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας σε Φ/Β ενσωματωμένα σε κτίρια και κατά συνέπεια με την απόδοσή τους. Τα ΥΑΦ που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση είχαν θερμοκρασία τήξης περίπου $25 \pm 4^\circ \text{C}$ και θερμοχωρητικότητα μεταξύ 140 και 213 kJ/kg. Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την έκθεση των συστημάτων Φ/Β-ΥΑΦ σε τρεις διαφορετικές εντάσεως ακτινοβολίες, ώστε να εκτιμηθεί η απόδοση του κάθε ΥΑΦ. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των παραπάνω συστημάτων καθορίστηκε μεταβάλλοντας τόσο την μάζα των ΥΑΦ, καθώς επίσης και τη θερμική αγωγιμότητα των ΥΑΦ και των Φ/Β-ΥΑΦ συστημάτων.

	PCM				
	Paraffin wax (RT20)	Eutectic mixture of capric-lauric acid (C-L)	Eutectic mixture of capric-palmitic acid (C-P)	Pure salt hydrate (CaCl ₂ ·6H ₂ O)	Commercial blend (SP22)
Melting onset, °C	21.23	20.78	22.33	29.17	22.97
Melting peak, °C	25.73	24.66	26.4	29.66	24.6
Heat of fusion, kJ/kg	140.3	171.98	196.07	213.12	182
Thermal conductivity, W/m K	0.2	0.139	0.143	1.09	0.6
Density solid, kg/l	0.88	0.88	0.883	1.71	1.49
Density liquid, kg/l	0.77	0.863	0.84	–	1.43
Volumetric expansion, l/kg%	14	2.3	4.8	Negligible	4
Sub-cooling, °C	Negligible	Negligible	Negligible	5	8
Specific heat capacity (solid), kJ/kg K	1.8–2.4	N/A	N/A	1.4	2.5

Εικόνα 3.1.1: Θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη [Hasan et al., (2007)]

Για τις ανάγκες του πειράματος κατασκευάστηκαν 4 ορθογώνια δοχεία (εικόνα 3.1.2) στο άνω μέρος των οποίων τοποθετήθηκαν Φ/Β στοιχεία διαστάσεων 10cm x 10cm x 0,05cm. Τα 2 δοχεία ήταν κατασκευασμένα από υψηλής θερμικής αγωγιμότητας αλουμίνιο (237 W/m*K) επιτρέποντας την ταχεία μεταφορά θερμότητας από το Φ/Β στο ΥΑΦ, αλλά επιτύγχαναν λιγότερη διατήρηση της θερμότητας λόγω των απωλειών προς το περιβάλλον μέσω των αγωγίων επιφανειών τους. Τα επόμενα 2 δοχεία τα οποία ήταν κατασκευασμένα από γυαλί perspex είχαν πολύ χαμηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας (0,189 W/m*K)

προφυλάσσοντας έτσι το σύστημα από εξωτερικές πηγές θερμότητας, η μεταφορά θερμότητας όμως από το Φ/Β στο υλικό ήταν αργή.

	PV/PCM systems			
	A	B	C	D
Container material	Aluminium	Perspex	Aluminium	Perspex
Thermal conductivity of material (W/m K)	237	0.189	237	0.189
Container width (cm) internal	5	5	3	3
External wall thickness (mm)	5	10	5	10

Εικόνα 3.1.2: Χαρακτηριστικά των δοχείων που κατασκευάστηκαν για τη μελέτη [Hasan et al., (2007)]

Και τα 4 δοχεία πληρώθηκαν με το κάθε ένα από τα επιλεχθέντα ΥΑΦ, κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τα παραπάνω συστήματα ακτινοβολήθηκαν στο εργαστήριο με ηλιακό προσομοιωτή με τιμές ακτινοβολίας χαμηλές (500 W/m^2), μέσες (750 W/m^2) και υψηλές (1000 W/m^2) και θερμοκρασία περιβάλλοντος $20 \pm 1^\circ \text{ C}$.

Τα 5 ΥΑΦ που αξιολογήθηκαν έδειξαν πως η απόδοση τους στη ρύθμιση της θερμότητας εξαρτάται τόσο από τη θερμική μάζα του ΥΑΦ όσο και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και γενικά όλου του Φ/Β-ΥΑΦ συστήματος. Συγκρίνοντας τα ΥΑΦ, προέκυψε το συμπέρασμα ότι το ένυδρο άλας CaCl_2 σημείωσε μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας στις περισσότερες τιμές έντασης ακτινοβολίας. Συγκρίνοντας τα συστήματα Φ/Β-ΥΑΦ, το σύστημα Α (αλουμίνιο) απέδωσε μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας με όλα τα ΥΑΦ. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν με τα ΥΑΦ CaCl_2 και C – P, τα οποία διατήρησαν μια μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του Φ/Β κατά 18° C για 30min, με το ένυδρο άλας CaCl_2 να διατηρεί μείωση της θερμοκρασίας κατά 10° C για τη μέγιστη διάρκεια των 5 ωρών σε ένταση ακτινοβολίας 1000 W/m^2 στο σύστημα Α.

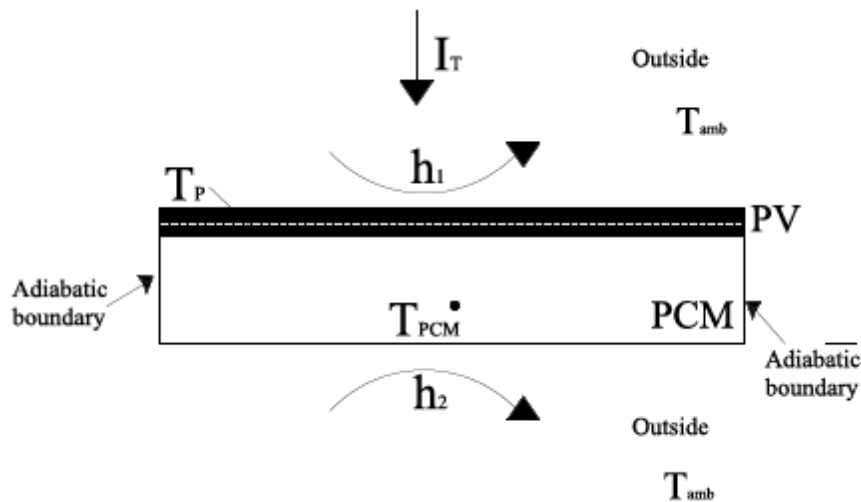
3.2 Εφαρμογή στη Σικελία

Μια άλλη προσομοίωση του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ είναι αυτή των Ciulla et. al. (2012). Η μελέτη είχε ως στόχο την αξιολόγηση της μεθόδου μείωσης ψύξης των Φ/Β συστημάτων με τη χρήση ΥΑΦ. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο ικανό να περιγράψει τη συμπεριφορά ενός συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ και μια πειραματική διάταξη Φ/Β-ΥΑΦ προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η μεταφορά ενέργειας που λαμβάνει χώρα σε ένα σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ βάση της οποίας δημιουργήθηκε το μαθηματικό μοντέλο φαίνεται στην εικόνα 3.2.1. Τα

χαρακτηριστικά του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ τα οποία εισήχθησαν στο μοντέλο είναι:

- Σκληρό φύλλο γυαλιού πάχους 3,2mm
- Πλαστικό PET πλαίσιο πάχους 1 mm στο οποίο είναι τοποθετημένα τα κελιά πυριτίου, των οποίων το πάχος θεωρείται αμελητέο
- Προαιρετικό στρώμα αέρα το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ του πάνελ και του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και αντιπροσωπεύει πιθανή ατέλεια στην επαφή
- Πλαστική στρώση η οποία λαμβάνεται υπόψη ως το δοχείο που περιέχει το ΥΑΦ
- Στρώση ΥΑΦ



Εικόνα 3.2.1: Σχηματική απεικόνιση μεταφοράς ενέργειας του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ [Ciulla et. al. (2012)]

Για τη περαίωση της πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκε διάταξη η οποία αποτελείται από ένα Φ/Β πλαίσιο πυριτίου ενισχυμένο με ΥΑΦ κι ένα πανομοιότυπο πλαίσιο πυριτίου ως Φ/Β αναφοράς. Τα χαρακτηριστικά του υλικού που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται στον πίνακα 3.2.1. Το ΥΑΦ τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του Φ/Β χρησιμοποιώντας ένα διάτρητο μεταλλικό πλέγμα βιδωμένο στο πλαίσιο του Φ/Β. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη στέγη του τμήματος ενέργειας του πανεπιστημίου του Παλέρμο κατά τους θερινούς μήνες.

Characteristics	PCM	
Transition phase	26-28	°C
Solid density	0,87	kg/l
Liquid density	0,75	kg/l
Heat Capacity	179	kJ/kg
Specific enthalpy of phase change	1,8-2,4	kJ/kg*K
Conductibility	0,2	W/m*K
Volumetric change	10	%

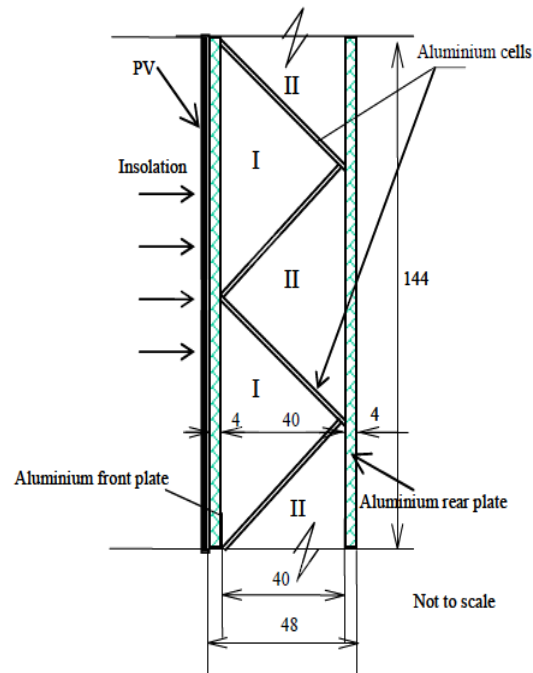
Πίνακας 3.2.1: Θερμο-φυσικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου ΥΑΦ [Ciulla et. al. (2012)]

Η σύγκριση μεταξύ πειραματικών δεδομένων και δεδομένων που εξήχθησαν από το μοντέλο έγινε για τις τιμές θερμοκρασίας και ηλεκτρικής ισχύος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ότι υπάρχει πολύ καλή αντιστοιχία μεταξύ των τιμών των οποίων μπορεί να προβλέψει το μοντέλο και των πραγματικών μετρήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας και μια μεγαλύτερη απόκλιση κατά τη διάρκεια της νύκτας η οποία πιθανότατα οφείλεται σε εσφαλμένη εκτίμηση της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα για τη συνολική διάρκεια του 24ωρου το μέσο απόλυτο σφάλμα ανέρχεται σε 1,67 °C ενώ αν ληφθεί υπόψη μόνο η διάρκεια της ημέρας η τιμή αυτή γίνεται 0,61°C. Συνεπώς τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι έγκυρο και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί επωφελώς για τον προσδιορισμό της θερμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος Φ/B-ΥΑΦ.

3.3 Εφαρμογή με δύο ΥΑΦ

Μια ακόμη εφαρμογή αποτελεί αυτή των Huang και Hewitt (2011), η μελέτη των οποίων είχε ως στόχο τη βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ ώστε να επιτευχθεί ρύθμιση της θερμοκρασίας των Φ/B για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, σε συστήματα Φ/B – ΥΑΦ ενσωματωμένα σε κτίρια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο Φ/B – ΥΑΦ στο οποίο ενσωματώθηκαν δύο τύποι ΥΑΦ. Με τη βοήθεια ενός μοντέλου, διεξήχθησαν μια σειρά αριθμητικών προσομοιώσεων για πραγματικές συνθήκες. Το σύστημα Φ/B – ΥΑΦ σχεδιάστηκε με μικρά μεταλλικά κελιά ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή δύο διαφορετικών ΥΑΦ ώστε να ενισχυθεί η μετάδοση θερμότητας (εικόνα 3.3.1). Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ έδωσαν τη δυνατότητα διατήρησης μιας χαμηλότερης θερμοκρασίας στο Φ/B για μεγαλύτερο χρονικό

διάστημα. Τα ΥΑΦ που διερευνήθηκαν ήταν τα RT21, RT27, RT31 και RT60 της εταιρίας Rubitherm, τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στη εικόνα 3.3.2 .



Εικόνα 3.3.1: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης με μεταλλικά κελιά [Huang και Hewitt (2011)].

		RT21	RT27	RT31	RT60
Property	Melting temperature	21	27	29	60
	Latent heat (kJ/kg)	134	184	169	144
	Density (kg/l)				
	Liquid	0.76	0.75	0.77	0.78
	Solid	0.84	0.84	0.89	0.95
	Thermal conductivity (W/mK)	0.2	0.2	0.2	0.2
	Viscosity (mm ² /s)	25.71	26.32	28.57	37.05

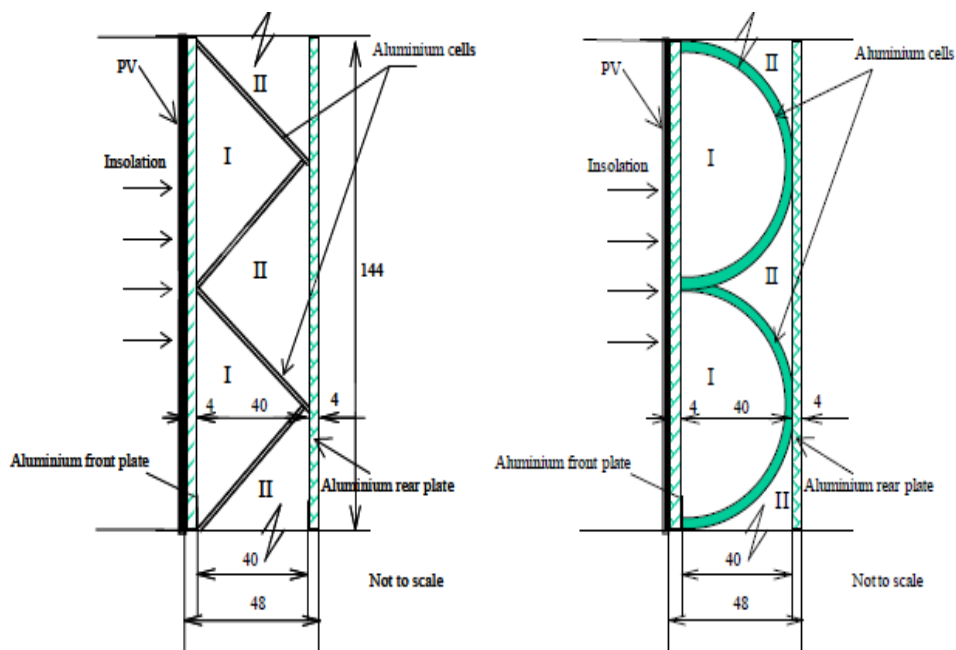
Εικόνα 3.3.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών Rubitherm [Anon (2009)]

Σε αυτή τη μελέτη αποδείχθηκε πως είναι εφικτή η περεταίρω ρύθμιση της θερμοκρασίας λειτουργίας του Φ/Β . Ο συνδυασμός υλικών με τις μικρότερες θερμοκρασίες τήξης (21 °C και 27 °C) ήταν εκείνος όπου, για ένα μικρό χρονικό διάστημα διατήρησε το Φ/Β στις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, ενώ για

μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, η πλήρωση της διάταξης μόνο με Rubitherm RT27, έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα [Huang, Hewitt (2011)].

3.4. Παραλλαγή εφαρμογής με δύο ΥΑΦ

Η Μ. J. Huang (2011), σε μία παρόμοια εφαρμογή με την παραπάνω σύγκρινε θεωρητικά την θερμοκρασία που αναπτυσσόταν σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο με ΥΑΦ της εταιρείας Rubitherm, τοποθετημένα μέσα σε μια τριγωνική αρχικά διάταξη και ύστερα σε μία ημικυκλική. Οι δύο διατάξεις παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 3.1.4: Σχηματική απεικόνιση των διατάξεων που προσομοιώθηκαν [Huang (2011)]

Από αυτήν την προσομοίωση, η Μ. J. Huang κατέληξε πως η διαφορά στη θερμική ρύθμιση που μπορεί να επιτύχει το ΥΑΦ σε μια ημικυκλική διάταξη δεν έχει ιδιαίτερες διαφορές από αυτή που παρέχει η τριγωνική διάταξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη έχει ως εξής:

Χρησιμοποιήθηκαν 2 ίδια Φ/Β panel της εταιρίας Sharp ανεξάρτητα μεταξύ τους, από τα οποία το ένα λειτουργούσε ως μέσο αναφοράς(στο εξής ονομαζόμενο Φ/Β αναφοράς) και το άλλο ως πειραματικό μέσο (Φ/Β-ΥΑΦ). Στο δεύτερο ενσωματώθηκαν 3 αλουμινένια κουτιά εκ των οποίων 2 με διαστάσεις 90 cm X46 cm X5 cm και 1 διαστάσεων 90 cm X54 cm X5 cm τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως κέλυφος ψυκτικής διάταξης με χρησιμοποιούμενο μέσο ΥΑΦ RT27 της εταιρίας RUBITHERM για τον αποτελεσματικό έλεγχο της θερμοκρασίας του Φ/Β.



Εικόνα 4.1.1: Εμπρόσθια όψη αλουμινένιου κουτιού 90 cm X46 cm X5 cm



Εικόνα 4.1.2. Κάθετη όψη αλουμινένιου κουτιού 90 cm X46 cm X5 cm

Τα αλουμινένια κουτιά, μετά την κατασκευή τους, κόπηκαν στο πίσω μέρος αφήνοντας μόνο μια μικρή επιφάνεια 2cm περιμετρικά για να μπορούν να κολληθούν στο πίσω μέρος του Φ/Β.



Εικόνα 4.1.3. Οπίσθια όψη κεντρικού κουτιού διαστάσεων 90 cm x54 cm x5cm και εργασία κόλλησης.

Η σκοπιμότητα πίσω από την ενέργεια αποκοπής της οπίσθιας πλευράς των κουτιών ήταν η επίτευξη άμεσης επαφής του ΥΑΦ με την πίσω πλευρά του Φ/Β και κατά συνέπεια η αμεσότερη δυνατή μεταφορά θερμότητας από το Φ/Β προς το ΥΑΦ. Η κόλληση των κουτιών θα ήταν δυνατή και χωρίς την αποκοπή της πίσω πλευράς. Σε αυτήν την περίπτωση όμως προκύπτουν τα εξής προβλήματα:

- Κατά την κόλληση, όσο καλά και να συμπιεστεί το κουτί πάνω στο Φ/Β, πάντα θα υπάρχει μία λεπτή στρώση αέρα ανάμεσα στο Φ/Β και στο κουτί με αποτέλεσμα να μην υπάρχει άμεση επαφή του υλικού με το Φ/Β.
- Για να επιλυθεί το παραπάνω πρόβλημα πρέπει να τοποθετηθεί σε όλη την οπίσθια επιφάνεια του κουτιού ένα υλικό (π.χ. θερμοαγώγιμη σιλικόνη) ώστε να καλυφθεί το κενό. Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση όμως η μεταφορά θερμότητας αργεί να πραγματοποιηθεί καθώς πρέπει να περάσει από την θερμοαγώγιμη σιλικόνη και ύστερα από το αλουμίνιο πάχους 2mm για να έρθει σε επαφή με το ΥΑΦ. Κάτι τέτοιο βέβαια συνεπάγεται αργή αντίδραση του όλου συστήματος με αποτέλεσμα το Φ/Β να διατηρεί τη θερμοκρασία του σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά που θα μπορούσε να αποδώσει.

Η τελική μορφή της διάταξης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.1.4 Οπίσθια όψη τελικής διάταξης

Λόγω του ότι το Φ/Β επιβαρύνθηκε με 60kg επιπρόσθετο βάρος, κρίθηκε αναγκαία μία επιπρόσθετη στήριξη στην πίσω πλευρά με 2 αλουμιένιες δοκούς οι οποίες βιδώθηκαν στο πλαίσιο του Φ/Β.



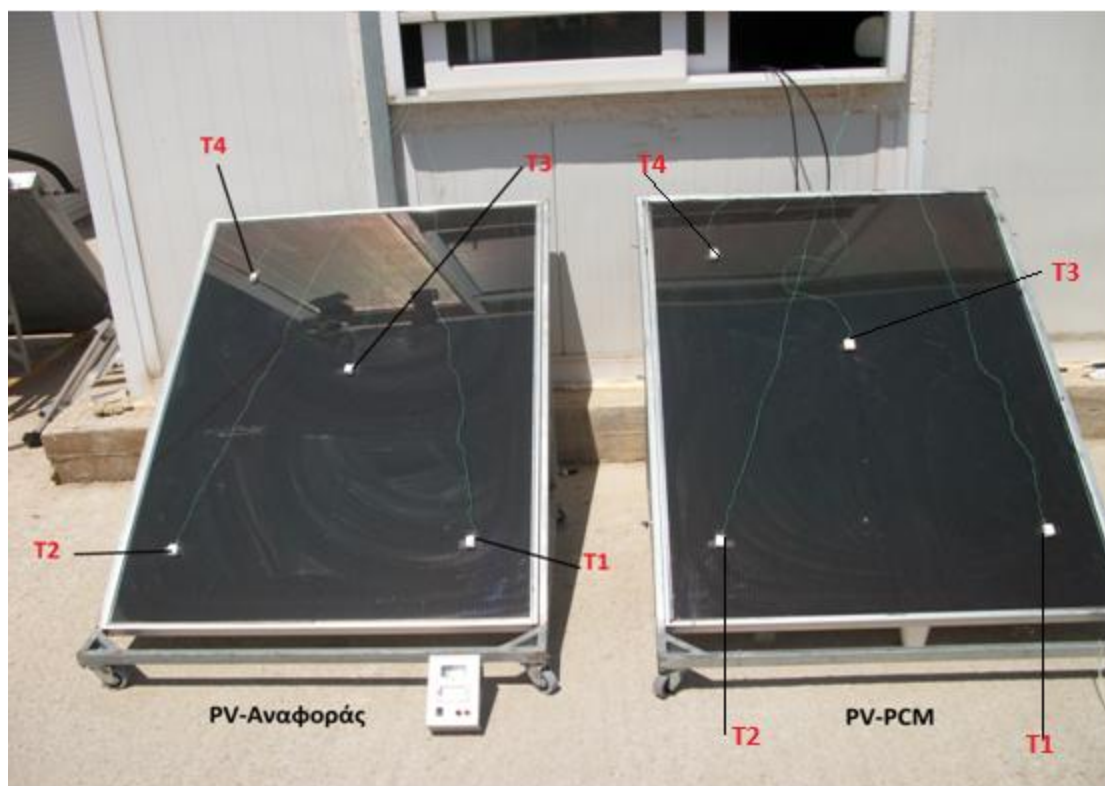
Εικόνα 2.1.5 Εργασίες τοποθέτησης δοκών στηρίξεως.

Τέλος, στα κουτιά εισάχθηκε το ΥΑΦ με την βοήθεια ενός χωνιού και μιάς κανάτας από τις σπές που είχαν κατασκευαστεί για αυτόν ακριβώς το λόγο.



Εικόνα 4.1.6 Εισαγωγή ΥΑΦ

Στο εμπρόσθιο μέρος των panel τοποθετήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας, μονωμένα από το πάνω μέρος ώστε να μην επηρεάζονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, τα οποία ήταν συνδεδεμένα με ένα καταγραφικό για την ευκολότερη συλλογή των δεδομένων.



Εικόνα 4.1.7 Πειραματική διάταξη.

4.2 Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν ο εξής:

- 2 φωτοβολταϊκά panel της εταιρίας Sharp με κωδικό SG2R_NA-F121Wp
- Καταγραφικό της εταιρίας Carbell Scientific
- Πυρανόμετρο της εταιρίας Kipp and Zonnen μοντέλο CMP3
- 60kg ΥΑΦ της εταιρίας Rubitherm RT27
- Αισθητήριο θερμοκρασίας Pt100 τύπου film
- Αμπερόμετρο (Μέτρηση του ρεύματος, A)
- Βολτόμετρο (Μέτρηση της τάσης, V)

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να εξηγηθεί ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε ως ψυκτικό μέσο το ΥΑΦ RT27 από την εταιρία RUBITHERM.

Τα Φ/Β, όπως είναι γνωστό, αποδίδουν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες έχοντας ως ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας τους 25°C. Σε αντίθεση με αυτή τους τη λειτουργία, αναπτύσσουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε υψηλά επίπεδα (800-1000 W/m²). Η παραφίνη RT27, όπως φαίνεται και από την ονομασία της, ξεκινάει την αλλαγή φάσης όταν η θερμοκρασία στον

περιβάλλοντα χώρο είναι 27°C. Έτσι, όταν το Φ/Β φτάσει στους 27°C ξεκινάει η αλλαγή φάση. Κατά το χρονικό διάστημα που γίνεται η αλλαγή φάσης, το ΥΑΦ, και κατά συνέπεια το Φ/Β αφού βρίσκεται σε άμεση επαφή με αυτό, τείνει να παραμείνει στην θερμοκρασία των 27°C μέχρι να υγροποιηθεί πλήρως οπότε και επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στα επίπεδα που αποδίδει καλύτερα το Φ/Β.

4.3 Χαρακτηριστικά Φ/Β.

Τα δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι προϊόντα της εταιρείας SHARP (SG2R_NA-F121). Αποτελούνται από άμορφο και μικροκρυσταλλικό πυρίτιο και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους περιγράφονται παρακάτω, ενώ τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον πίνακα 4.3.1:

- Απόδοση 8.5%
- Βάρος 19kg
- Διαστάσεις (L×W×H)=(1409×1009×46)(mm)[Sharp Energy Solution]

	Αρχικές τιμές	Ονομαστικές τιμές
Μέγιστη ισχύς	142.4 Wp	121 Wp
Τάση ανοιχτοκύκλωσης, Voc	60.2	59.2
Ρεύμα βραχυκύκλωσης, Isc	3.43	3.35
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος, V _{pm}	48.2	45
Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος, I _{pm}	2.96	2.69
Συντελεστής θερμοκρασίας – τάση ανοιχτοκύκλωσης, aVoc	-0.30	-0.30
Συντελεστής θερμοκρασίας – ρεύμα βραχυκύκλωσης, aIsc	+0.07	+0.07
Συντελεστής θερμοκρασίας – ισχύς, aP _m	-0.24	-0.24

Πίνακας 4.3.1:(Χαρακτηριστικά Φ/Β SHARP (SG2R_NA-F121))[28]

4.4 Χαρακτηριστικά ΥΑΦ.

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το RT27, ένα υλικό αλλαγής φάσης της εταιρίας RUBITHERM που εντάσσεται στην κατηγορία των παραφινών και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό και αντίστροφα στους 27 °C. Σύμφωνα με την εταιρία, πρόκειται για ένα χημικά αδρανές, μη τοξικό, φιλικό προς το περιβάλλον και 100% ανακυκλώσιμο υλικό με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και η απόδοση του δεν μεταβάλλεται από τις συνεχείς αλλαγές φάσης. Τα χαρακτηριστικά του υλικού παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4.1 [Rubitherm Technologies].

	Σύμβολο	Τυπικές τιμές
Περιοχή Τήξης	°C	25 – 28 (τυπική τιμή: 27)
Περιοχή Πήξης	°C	28 – 25 (τυπική τιμή: 27)
Θερμοχωρητικότητα αποθήκευσης	kJ/kg	184
Πυκνότητα στερεού στους 25 °C	kg/l	0.88
Πυκνότητα υγρού στους 40 °C	kg/l	0.76
Αύξηση όγκου στην περιοχή αλλαγής φάσης	%	16
Θερμική αγωγιμότητα	W/(m*K)	0.2
Κινηματικό ιξώδες στους 50 °C	mm ² /s	26.32
Σημείο ανάφλεξης	°C	164

Πίνακας 4.4.1: (Χαρακτηριστικά ΥΑΦ RT27)[29]



Εικόνα 4.4.1: (Αριστερά το ΥΑΦ στην αρχή αλλαγής φάσης. Δεξιά το ΥΑΦ σε υγρή μορφή [Zacharias Gkouskos (2012)])

4.5 Κόστος

Το συνολικό κόστος της διάταξης ανέρχεται στα 980 ευρώ.

Πιο συγκεκριμένα το υλικό αλλαγής φάσης κόστισε 550 ευρώ η κατασκευή των αλουμινένιων κουτιών 80 ευρώ η συγκόλληση τους 50 ευρώ και οι 2 βάσεις στήριξης των Φ/Β 300 ευρώ.

Τα καταγραφικά θερμοκρασίας καθώς και το πυρανόμετρο ανήκαν στον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό του εργαστηρίου.

4.6 Επιλογή χώρου

Ο χώρος που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος είναι αυτός της πολυτεχνειούπολης Χανίων στο Sol Lab και ο λόγος ήταν για ευκολίες πρόσβασης σε εργαστηριακό εξοπλισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.1 Πειραματική Διαδικασία

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η ψύξη της ΦΒ γεννήτριας με στόχο την διατήρηση του βαθμού απόδοσης, ο οποίος είναι γνωστό ότι επηρεάζεται αρνητικά (μειώνεται) ανάλογα με την αύξηση της συνολικής θερμοκρασίας του panel που οφείλεται στην ηλιακή θερμική ακτινοβολία και την άνοδο της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τον μήνα Απρίλιο. Το μέσο ψύξης που χρησιμοποιήθηκε είναι το ΥΑΦ RT27, μία παραφίνη με την ιδιότητα να αλλάζει φάση από στερεή σε υγρή στους 27°C και η επιλογή του έγινε με κριτήριο ότι τα panels παρουσιάζουν την μέγιστη απόδοση τους στους 25 °C. Οι μετρήσεις απόδοσης ισχύος, πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα και στα 2 Φ/Β, Φ/Β αναφοράς και Φ/Β-ΥΑΦ, και κάτω από τις ίδιες συνθήκες, θερμοκρασία περιβάλλοντος, ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου. Η θερμοκρασία των ΦΒ panel μετρήθηκε με αισθητήριο θερμοκρασίας Pt100, το οποίο ήταν συνδεδεμένο σε καταγραφικό. Ο βαθμός απόδοσης μετρήθηκε με την εξής διαδικασία:

Συνδέθηκε στην έξοδο της Φ/Β γεννήτριας ένα σπειροειδές σύρμα χρωμονικελίνης ως μεταβλητή αντίσταση των 60Ω. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτό ο σύρμα είναι ότι αποτελεί κράμα μετάλλων (Ni, Fe, Cr, Mn) και δεν παρουσιάζει αλλαγή στην ειδική του αντίσταση (ρ) με την άνοδο της θερμοκρασίας καθώς ο θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης είναι σχεδόν μηδέν ($\alpha_{\theta}=0,0007$). Σε αυτό το σύρμα μετρήθηκε η αντίσταση ανά μερικά cm στα οποία και τοποθετήθηκαν καλώδια μεταφοράς ρεύματος. Τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκαν αυτά τα καλώδια αποτελούν τις αντιστάσεις στις οποίες μετρήθηκαν τα εκάστοτε I και V με αμπερόμετρο και βολτόμετρο για την εξαγωγή των καμπυλών I-V. Έπειτα υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης από την σχέση:

$$n = \frac{V(MPP) * I(MPP)}{A * G}$$

Όπου :

$V_{(MPP)}$: Η τιμή μέγιστης ισχύος(V)
 $I_{(MPP)}$: Η τιμή μέγιστης έντασης(A)
A:Επιφάνεια panel(m²)
G:Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας(W/m²)

5.2 Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων

Όπως έχει προαναφερθεί ο σκοπός του πειράματος ήταν η βελτίωση της απόδοσης ενός Φ/Β panel με την ελάττωση της θερμοκρασίας του με την χρήση ενός υλικού αλλαγής φάσης.

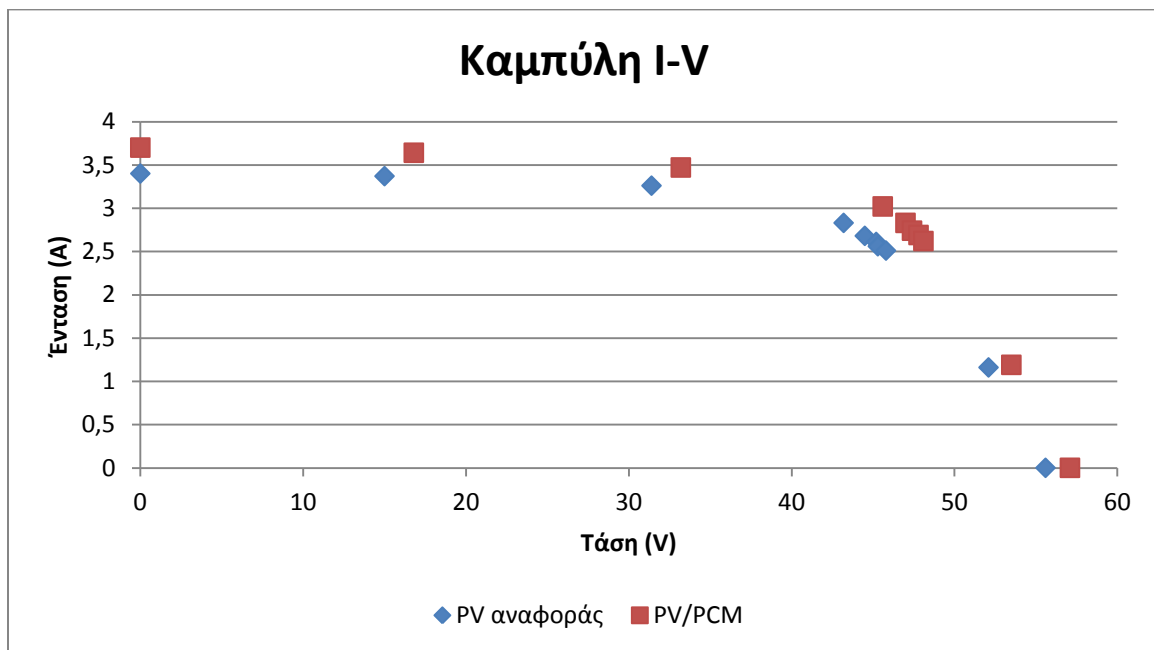
Για τον λόγο αυτό οι μετρήσεις αφορούν την θερμοκρασία των 2 panel (Φ/Β αναφοράς και Φ/Β-ΥΑΦ), τις τιμές τάσης (V) και έντασης (I) και μετέπειτα το βαθμό απόδοσης.

Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για 5 ημέρες πειραμάτων.

1η ΜΕΤΡΗΣΗ 24/04/2013:

Ωρα: 12:30 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 900W/m²



Διάγραμμα 5.2.1: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/Β αναφοράς και του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ, για αμεσότητα στη σύγκριση. Είναι φανερό ότι ενώ η ένταση παραμένει πρακτικά σταθερή η διαφορά στην τάση είναι σημαντική με μέγιστη διαφορά τα 2,4V.

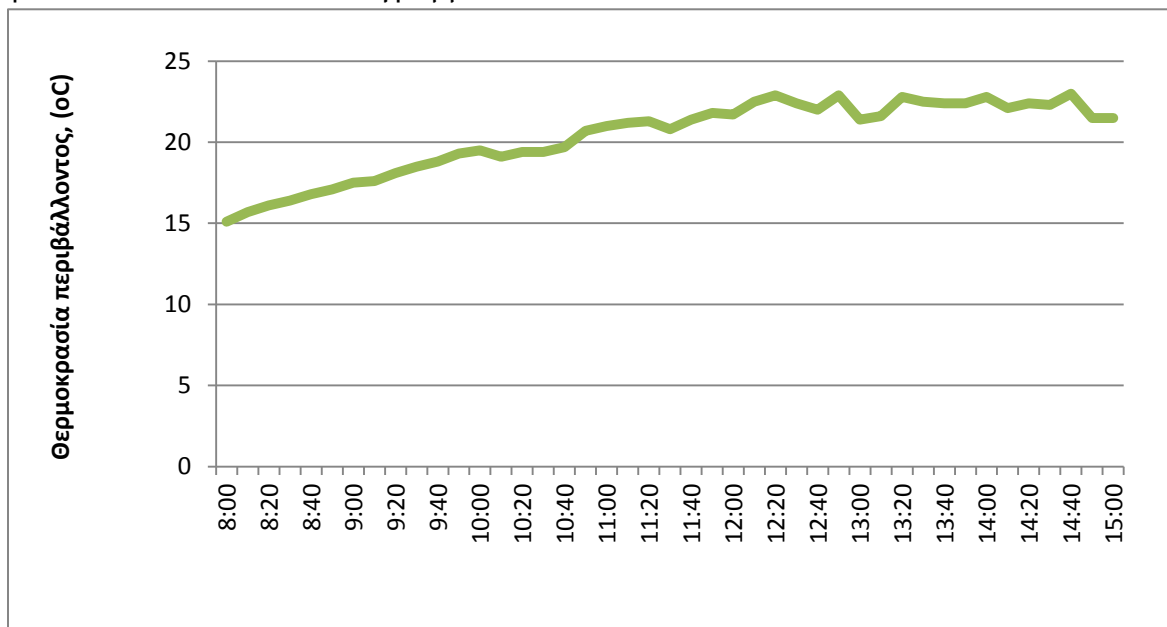
Οι θερμοκρασία των πλαισίων στα τέσσερα σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, για τη δεδομένη μέρα και ώρα των μετρήσεων ήταν:

	Φ/Β-Αναφοράς	Φ/Β-ΥΑΦ
T₁	-	-
T₂	44,1 °C	36,6 °C
T₃	51,3 °C	36,5 °C
T₄	52 °C	37,8 °C

Πίνακας 5.2.1: Θερμοκρασία πλαισίων

Οι θερμοκρασίες λήφθηκαν στιγμιαία για να αντιστοιχούν στη χρονική στιγμή που μετρήθηκαν η τάση και η ένταση.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος για τη συγκεκριμένη μέρα κυμάνθηκε, όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:

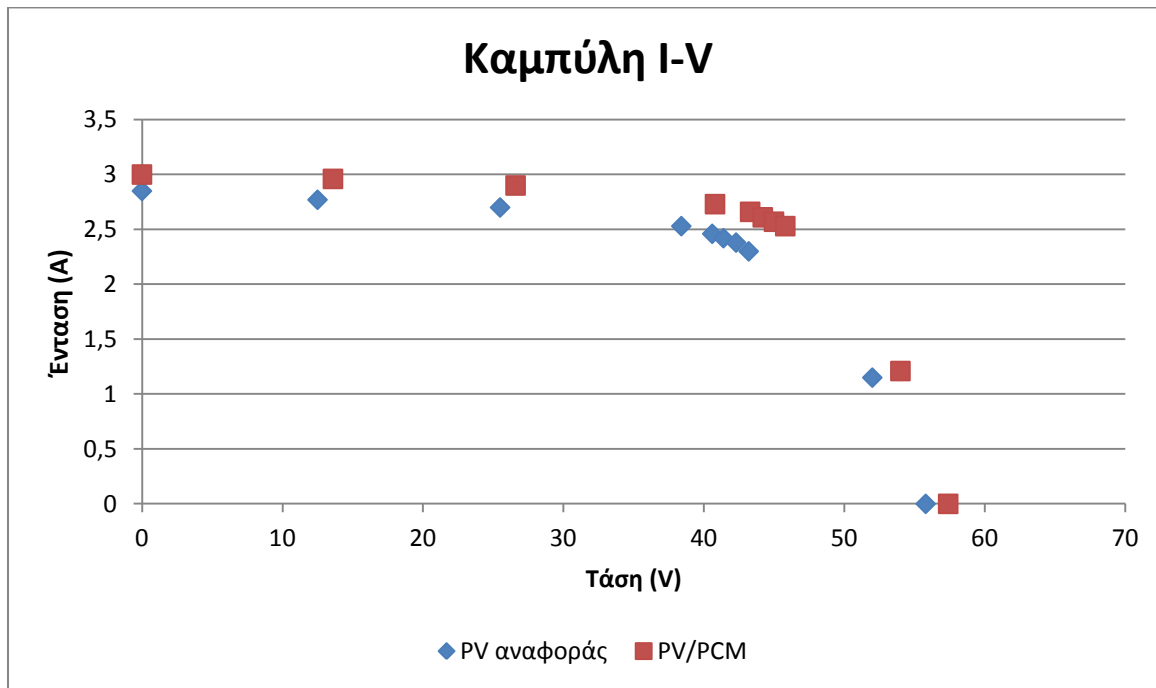


Διάγραμμα 5.2.2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος, 24/4/2013, (Μετεωρολογικός σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης)

2η ΜΕΤΡΗΣΗ 25/04/2013

Ωρα: 9:30 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 790 W/m²



Διάγραμμα 5.2.3: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

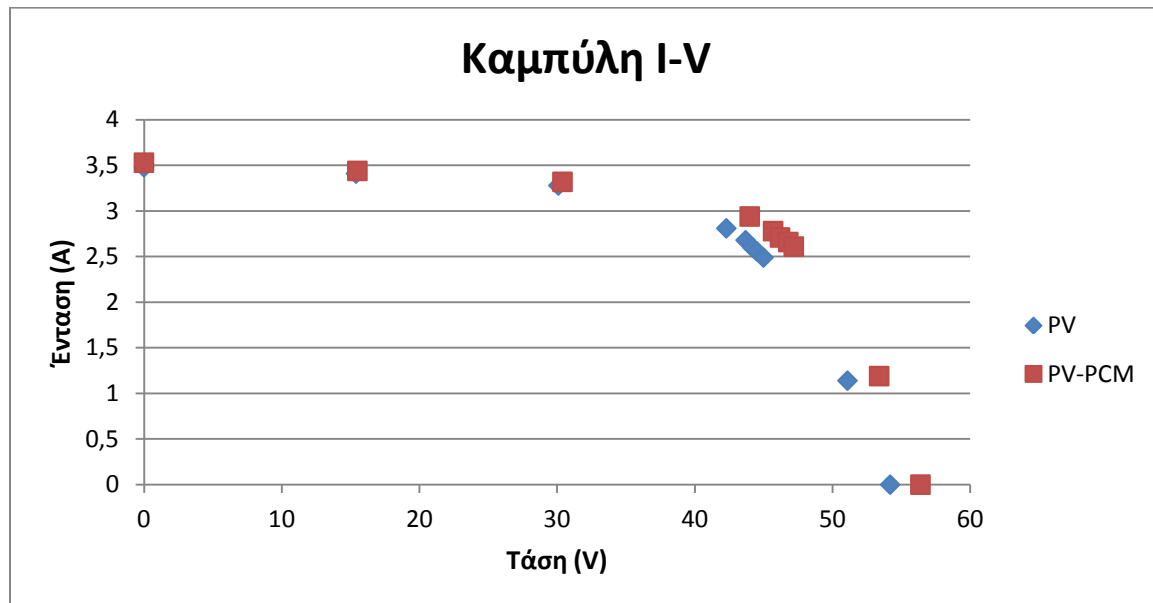
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,2A

Μέγιστη διαφορά V: 2,7V

Ωρα 11:00 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 910 W/m²



Διάγραμμα 5.2.4: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

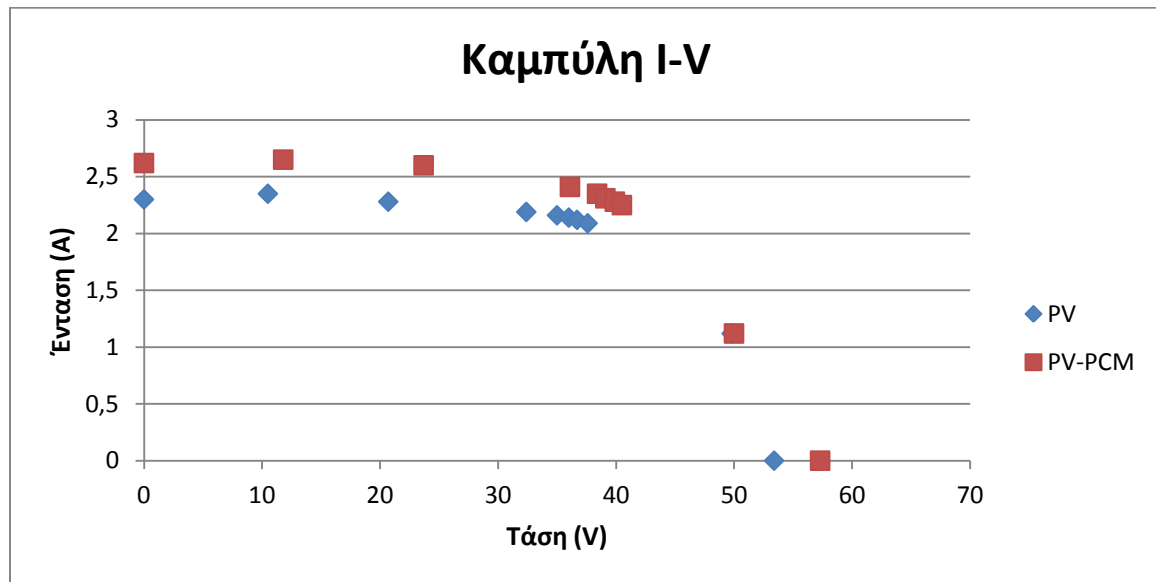
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,1A

Μέγιστη διαφορά V: 2,2V

Ωρα: 14:30 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 730 W/m²



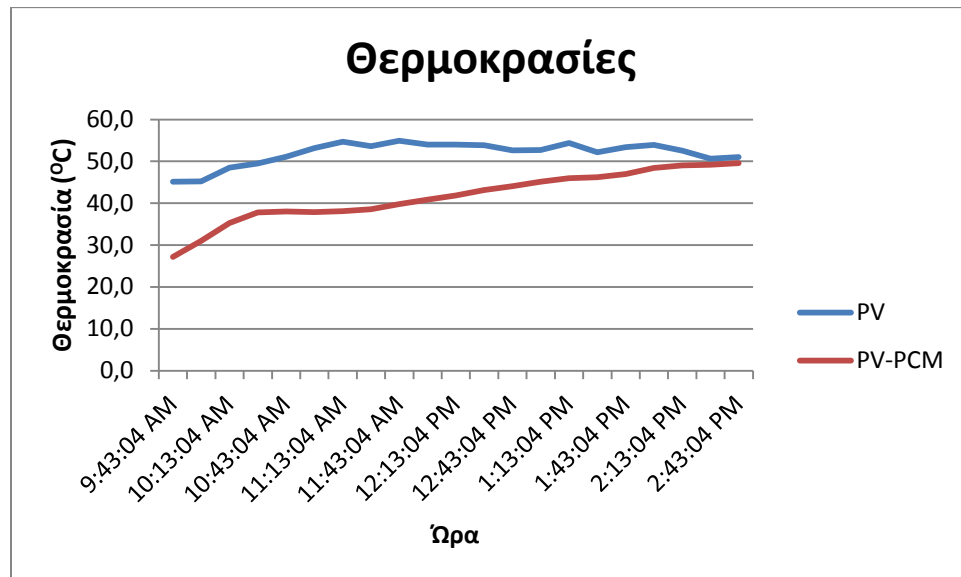
Διάγραμμα 5.2.5: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,3A

Μέγιστη διαφορά V: 2,7V

Οι θερμοκρασίες των πλαισίων στα τέσσερα σημεία, όπως αυτή μετρήθηκε με τη βοήθεια των καταγραφικών παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα για την δεδομένη ημέρα.

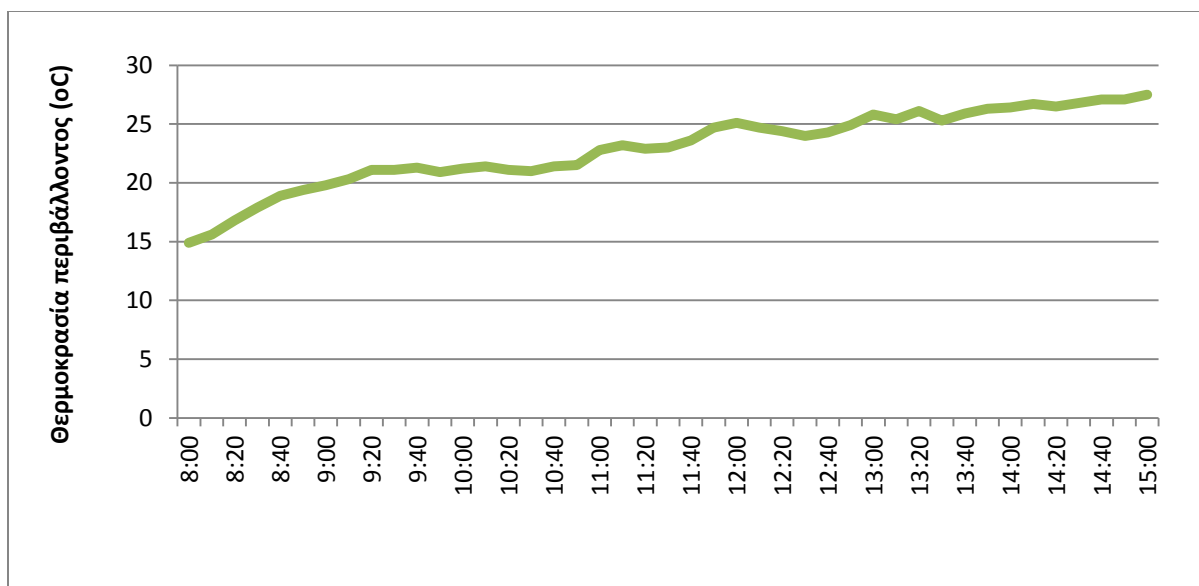


Διάγραμμα 5.2.6: Μετρήσεις θερμοκρασίας πλαισίων Φ/Β και Φ/Β-ΥΑΦ.

Φ/Β αναφοράς: Αύξηση θερμοκρασίας με πολύ γρήγορους ρυθμούς, με την μέγιστη να φθάνει τους 55°C όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος βρίσκεται στους μόλις στους 22°C.

Φ/Β-ΥΑΦ: Όπως φαίνεται, η θερμοκρασία του panel με το ΥΑΦ τείνει να διατηρηθεί στους 37°C από τις 10:00 μέχρι τις 12:30. Επειδή όμως κατά τις επόμενες ώρες έχουμε έντονη ηλιοφάνεια, η αλλαγή φάσης του υλικού επιταχύνεται με αποτέλεσμα την μετέπειτα αύξηση της θερμοκρασίας του panel σε πολύ χαμηλότερες όμως θερμοκρασίες σε σύγκριση με το Φ/Β αναφοράς.

Ο λόγος που εξελίσσεται κατ' αυτόν τον τρόπο η καμπύλη είναι το ότι το υλικό πραγματοποιεί πλήρη αλλαγή φάσης στις 13:30 με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ελέγξει πλέον αποτελεσματικά την θερμοκρασία του panel.

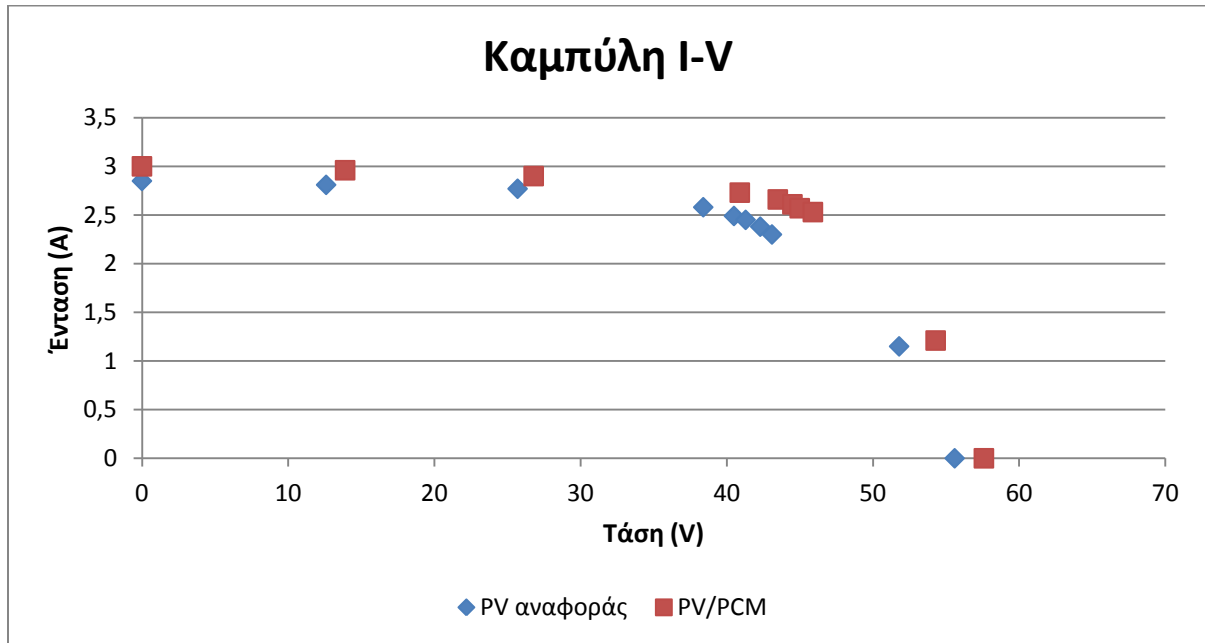


Διάγραμμα 5.2.7: Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Μετεωρολογικός Σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης)

3η ΜΕΤΡΗΣΗ 26/04/2013

Ωρα 9:30 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 780 W/m²



Διάγραμμα 5.2.8: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

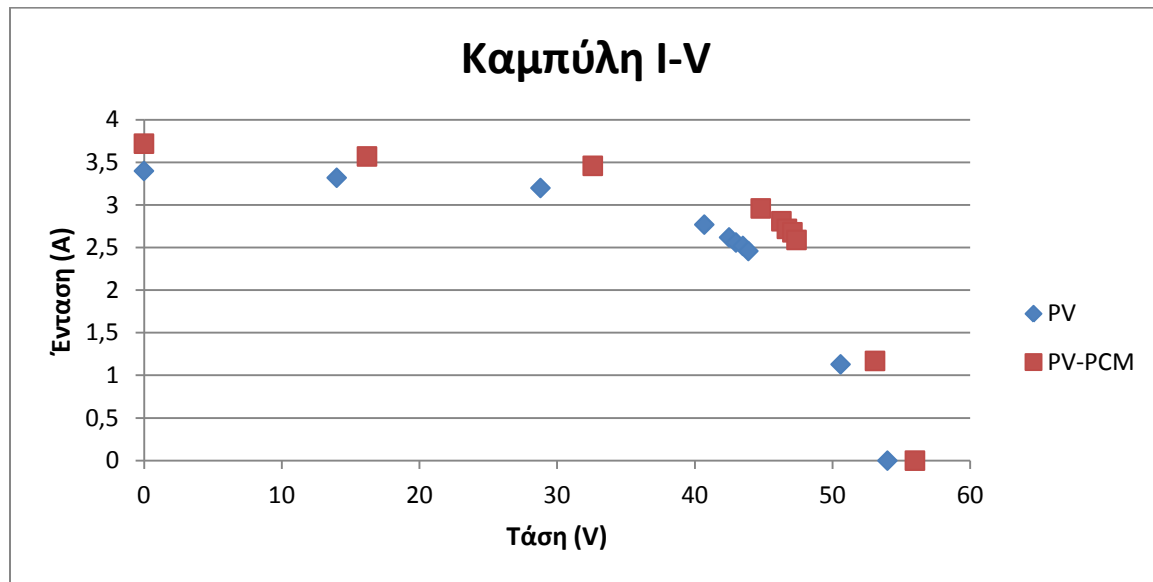
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,15A

Μέγιστη διαφορά V: 2V

Ωρα: 11:00 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 950 W/m²



Διάγραμμα 5.2.9: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

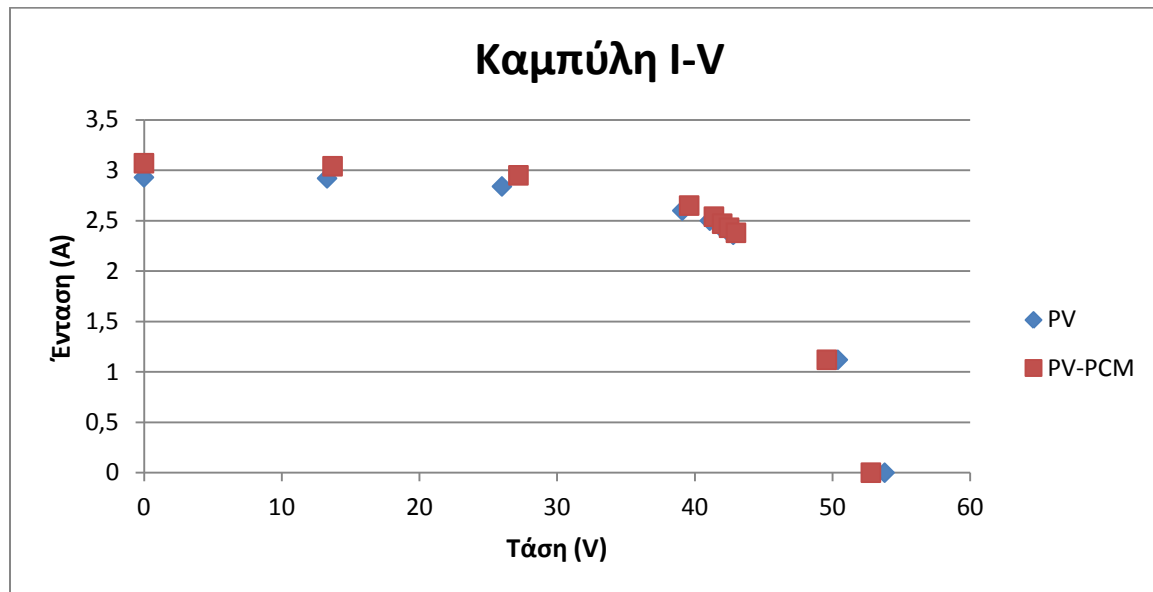
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,3A

Μέγιστη διαφορά V: 2,1V

Ωρα 14:00 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 795 W/m²

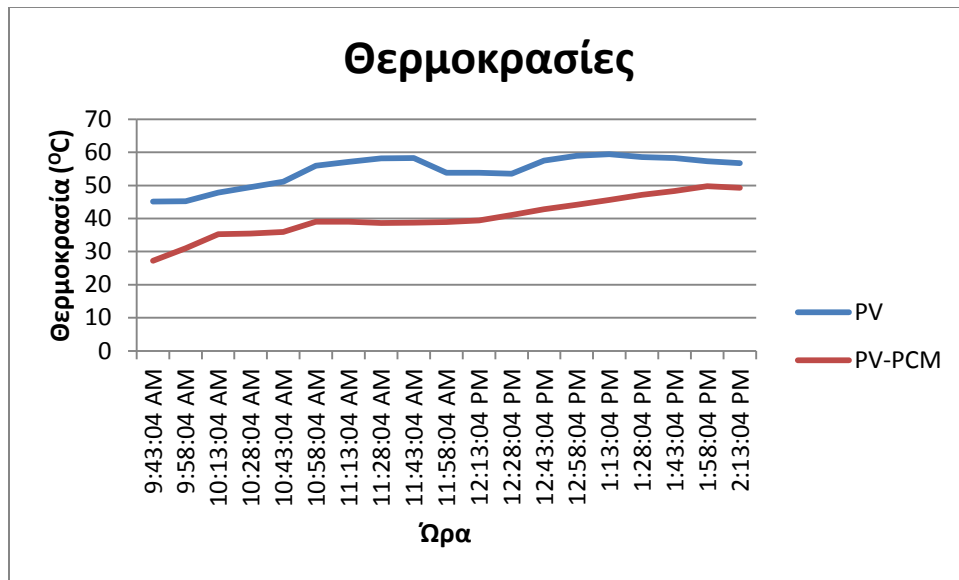


Διάγραμμα 5.2.10: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,07A

Μέγιστη διαφορά V: 1,2V

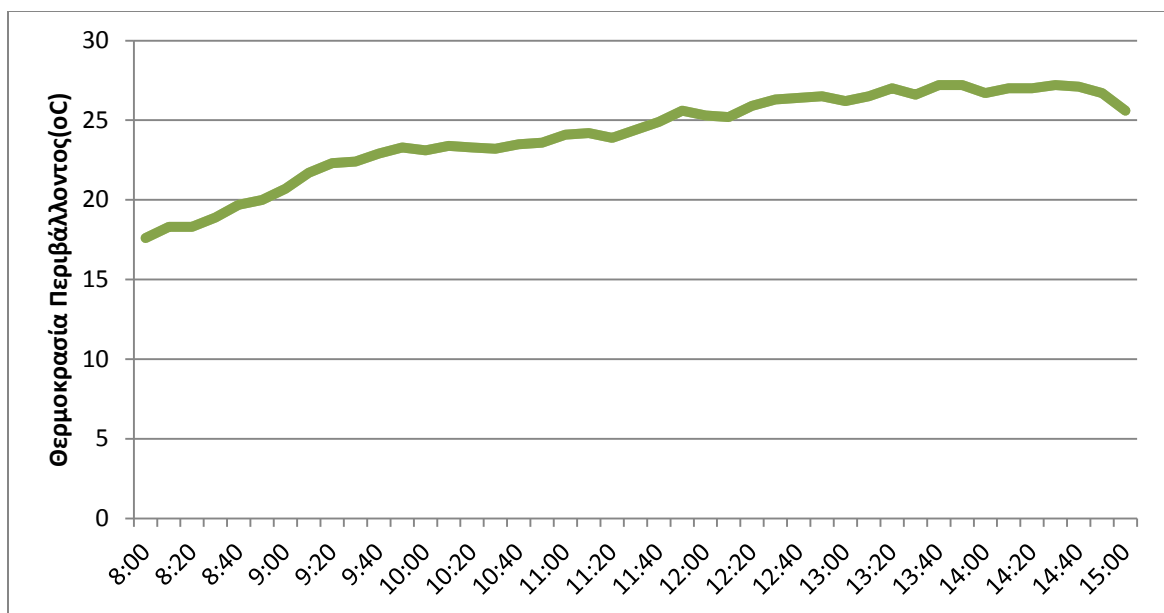


Διάγραμμα 5.2.11: Μετρήσεις θερμοκρασίας πλαισίων Φ/Β και Φ/Β-ΥΑΦ.

Φ/Β αναφοράς: Στο διάγραμμα παρατηρείται η ύπαρξη αραιής νέφωσης από τις 11:40 έως τις 12:40 καθώς υπάρχει πτώση στη θερμοκρασία των Φ/Β. Η θερμοκρασία του πάνελ αυξάνεται ταχύτατα με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Φ/Β-ΥΑΦ: Όπως φαίνεται, η θερμοκρασία του panel με το ΥΑΦ τείνει να διατηρηθεί στους 38°C από τις 11:00 μέχρι τις 13:00. Επειδή όμως κατά τις επόμενες ώρες έχουμε έντονη ηλιοφάνεια, η αλλαγή φάσης του υλικού επιταχύνεται με αποτέλεσμα την μετέπειτα αύξηση της θερμοκρασίας του panel σε πολύ χαμηλότερες όμως θερμοκρασίες σε σύγκριση με το Φ/Β αναφοράς.

Ο λόγος που εξελίσσεται κατ' αυτόν τον τρόπο η καμπύλη είναι το ότι το υλικό πραγματοποιεί πλήρη αλλαγή φάσης στις 13:20 με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ελέγξει πλέον αποτελεσματικά την θερμοκρασία του panel.

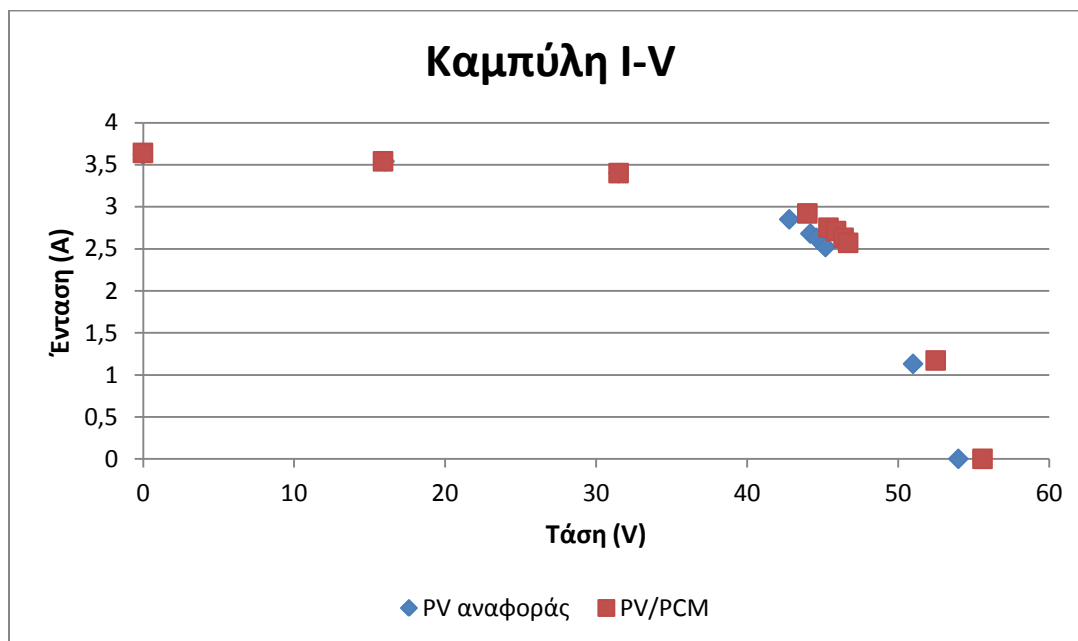


Διάγραμμα 5.2.12: Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Μετεωρολογικός Σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης)

4η ΜΕΤΡΗΣΗ 27/04/2013

Ωρα 11:00 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 970 W/m²



Διάγραμμα 5.2.13: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

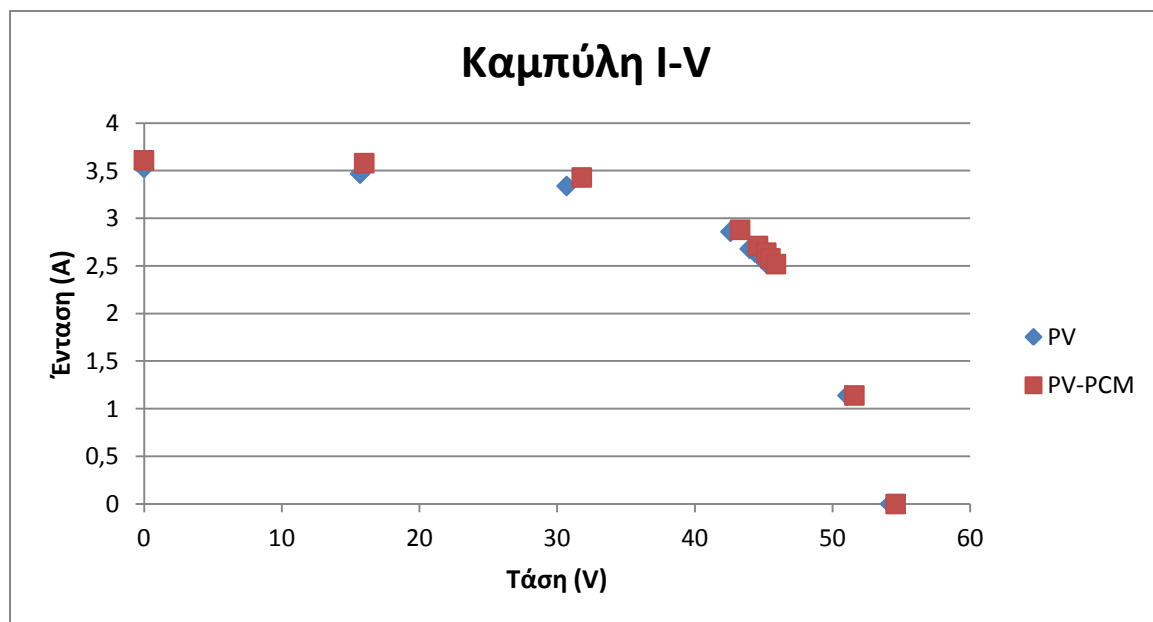
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,05A

Μέγιστη διαφορά V: 2V

Ωρα: 13:00 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 970 W/m²



Διάγραμμα 5.2.14: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

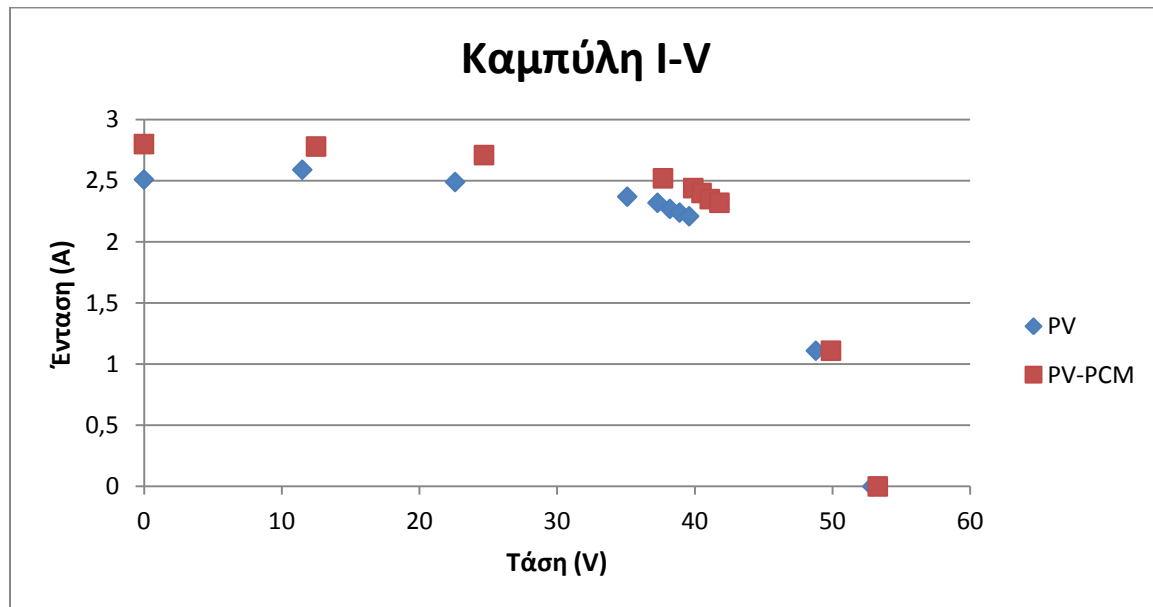
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,08A

Μέγιστη διαφορά V: 2,3V

Ωρα: 14:30 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 750 W/m²

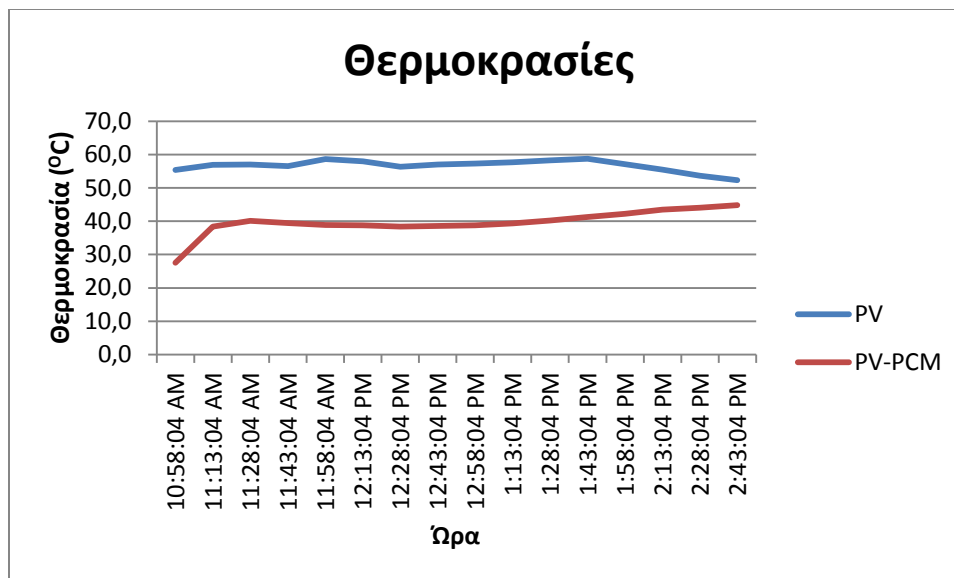


Διάγραμμα 5.2.15: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,2A

Μέγιστη διαφορά V: 1,9V

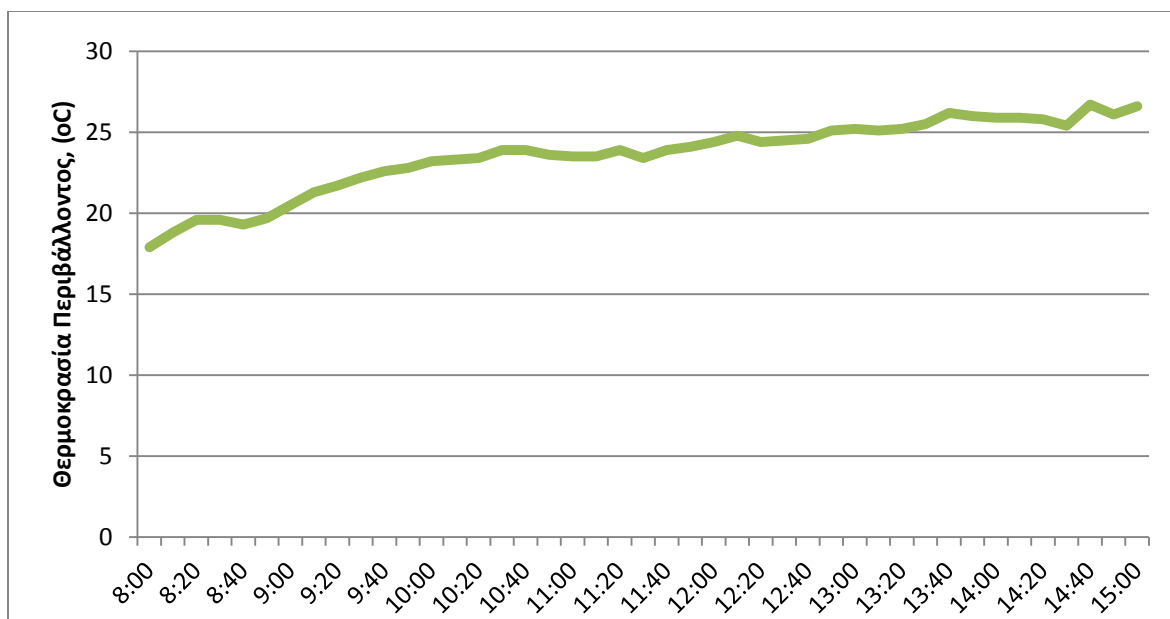


Διάγραμμα 5.2.16: Μετρήσεις θερμοκρασίας πλαισίων Φ/Β και Φ/Β-ΥΑΦ.

Φ/Β αναφοράς: Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας το Φ/Β αναφοράς λειτουργούσε σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας που επικρατούσε.

Φ/Β-ΥΑΦ: Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, πέραν ενός σφάλματος στον αισθητήρα T4, η θερμοκρασία του panel με το ΥΑΦ τείνει να διατηρηθεί και πάλι στους 38°C από τις 11:00 μέχρι τις 13:30. Επειδή όμως κατά τις επόμενες ώρες έχουμε έντονη ηλιοφάνεια, η αλλαγή φάσης του υλικού επιταχύνεται με αποτέλεσμα την μετέπειτα αύξηση της θερμοκρασίας του panel σε πολύ χαμηλότερες όμως θερμοκρασίες σε σύγκριση με το Φ/Β αναφοράς.

Ο λόγος που εξελίσσεται κατ' αυτόν τον τρόπο η καμπύλη είναι το ότι το υλικό πραγματοποιεί πλήρη αλλαγή φάσης στις 14:00 με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ελέγξει πλέον αποτελεσματικά την θερμοκρασία του panel.

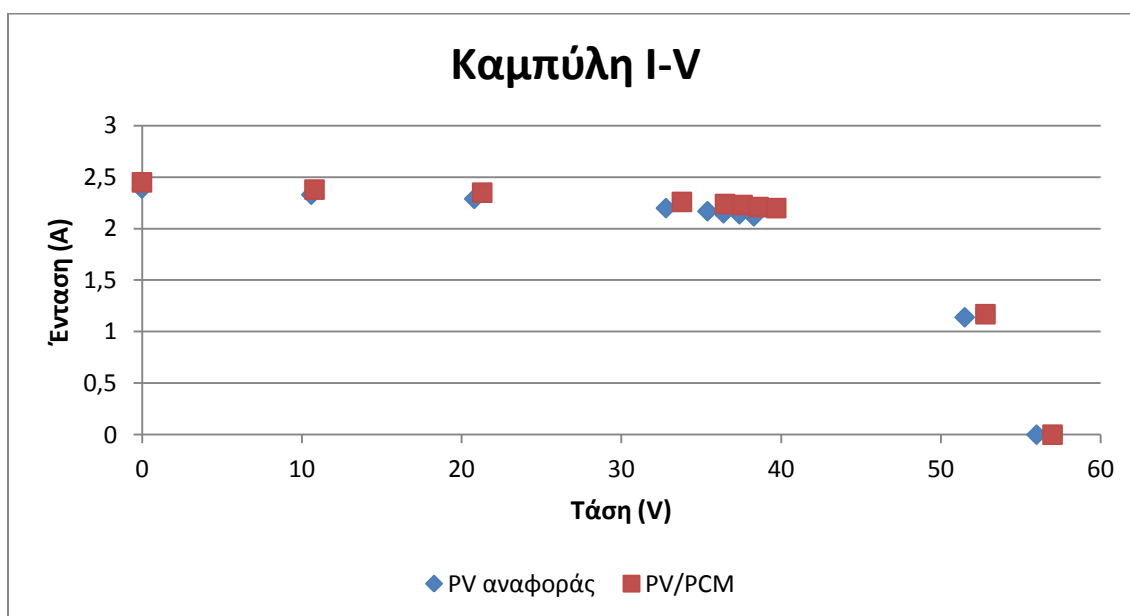


Διάγραμμα 5.2.17: Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Μετεωρολογικός Σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης)

5η ΜΕΤΡΗΣΗ 28/04/2013

Ώρα: 08:30 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 710 W/m²



Διάγραμμα 5.2.18: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

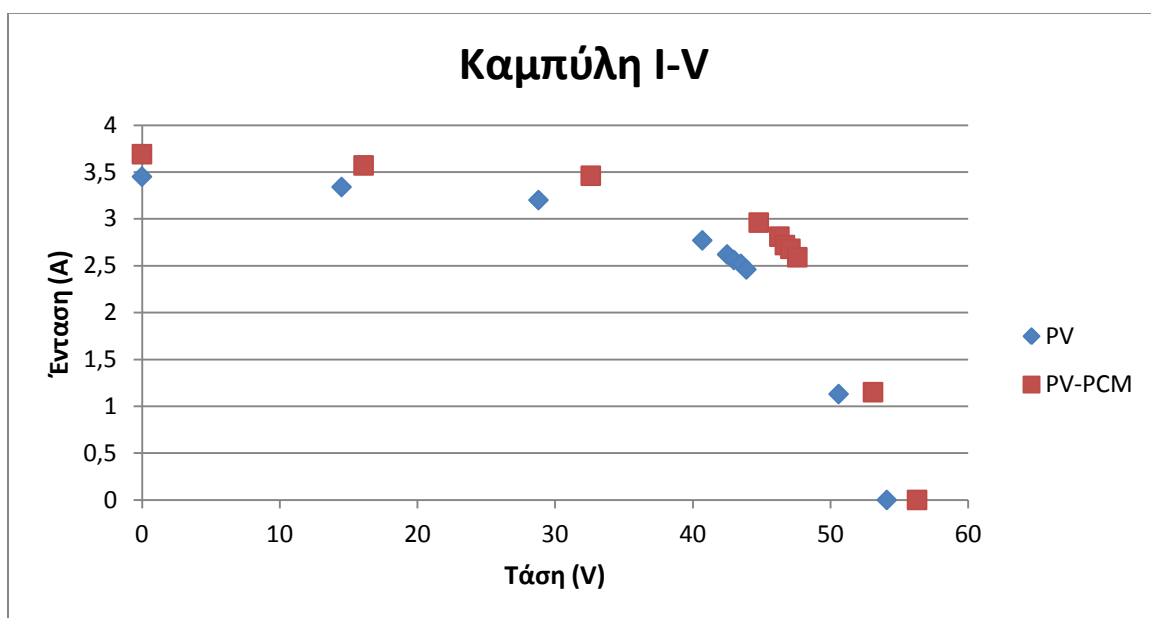
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,25A

Μέγιστη διαφορά V: 1,8V

Ωρα: 11:00 πμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 950 W/m²



Διάγραμμα 5.2.19: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

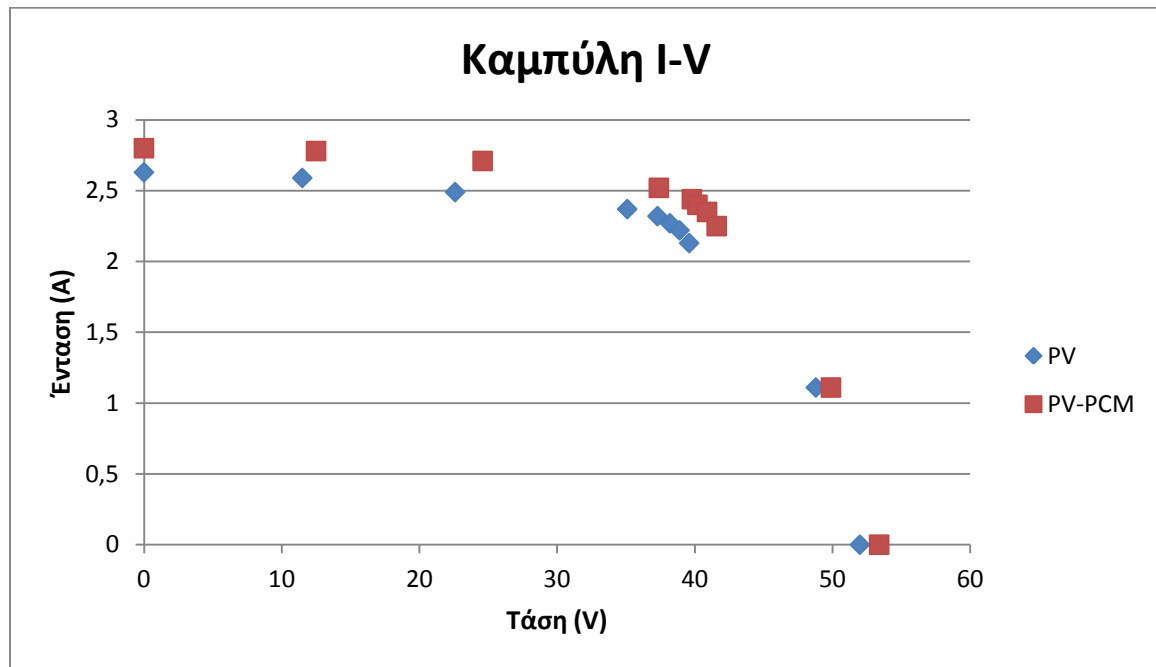
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,2A

Μέγιστη διαφορά V: 2,1V

Ωρα: 14:30 μμ

Ηλιακή ακτινοβολία: 750 W/m²



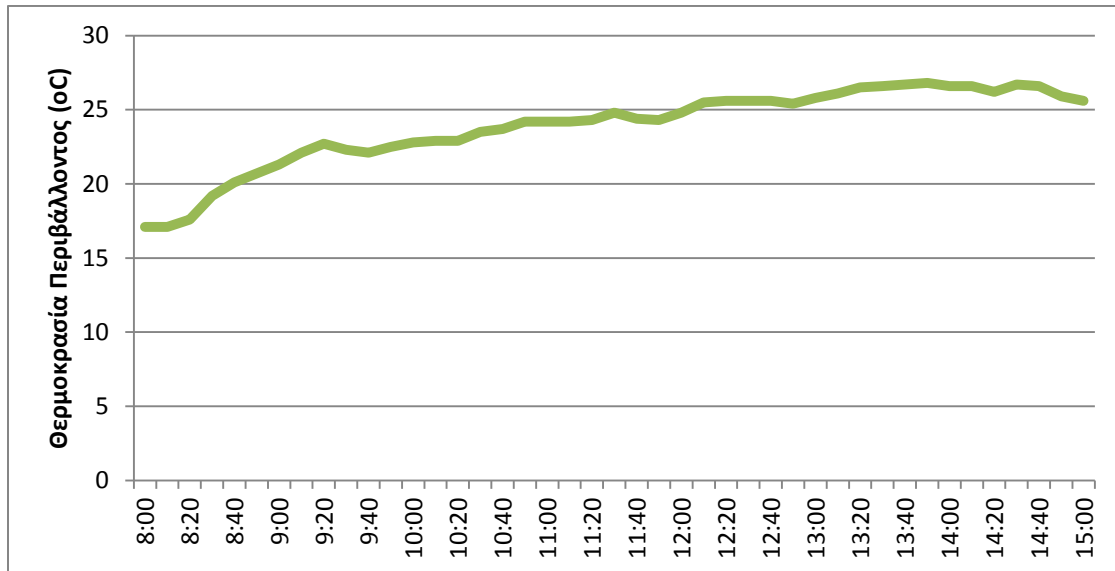
Διάγραμμα 5.2.20: Μετρήσεις έντασης και τάσης για τις πειραματικές διατάξεις

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται:

Μέγιστη διαφορά I: 0,08A

Μέγιστη διαφορά V: 1,5V

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος για αυτή την ημέρα απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.2.21: Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Μετεωρολογικός Σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης)

Οι θερμοκρασίες των πλαισίων για το φωτοβολταϊκό αναφοράς και για το φωτοβολταϊκό με το ΥΑΦ για τη στιγμή της μέτρησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

	Φ/Β-Αναφοράς	Φ/Β-ΥΑΦ
T_1	-	29,3 °C
T_2	41,8 °C	29,4 °C
T_3	42,7 °C	30 °C
T_4	43 °C	32 °C

Πίνακας 5.2.2: (Θερμοκρασίες πλαισίων, 28/4/2013, 08:30 πμ, 710 W/m²)

	Φ/Β-Αναφοράς	Φ/Β-ΥΑΦ
T_1	-	38 °C
T_2	51°C	38,1 °C
T_3	59,5 °C	40 °C
T_4	61 °C	39,6 °C

Πίνακας 5.2.3: Θερμοκρασίες πλαισίων, 28/4/2013, 11:00 πμ, 950 W/m²

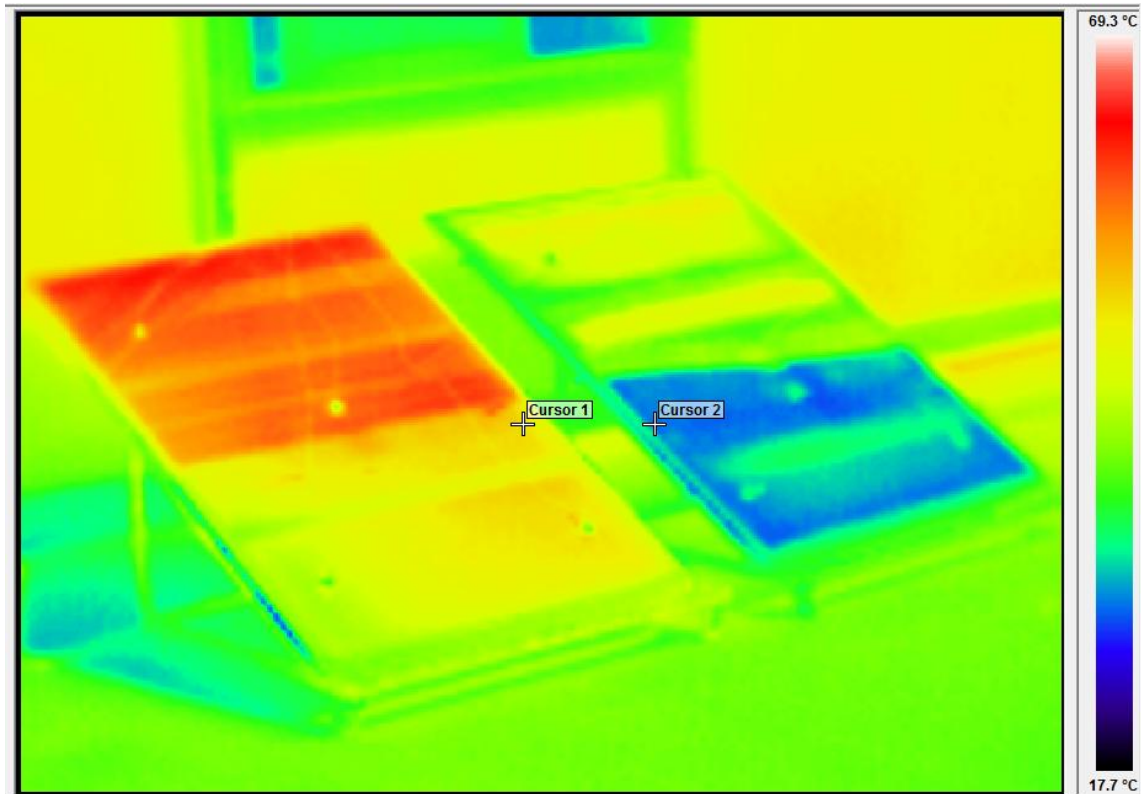
	Φ/Β-Αναφοράς	Φ/Β-ΥΑΦ
T_1	-	41 °C
T_2	49,3 °C	41 °C
T_3	55,2 °C	47,5°C
T_4	56,9 °C	48 °C

Πίνακας 5.2.4: Θερμοκρασίες πλαισίων, 28/4/2013, 14:30 μμ, 750 W/m²

Ο λόγος για τον οποίο οι θερμοκρασίες παρουσιάζονται σε πίνακες είναι ότι οι μετρήσεις έγιναν δειγματοληπτικά και στιγμιαία ώστε να αντιστοιχούν στη δεδομένη χρονική στιγμή που λήφθηκαν οι αντίστοιχες μετρήσεις τάσης και έντασης.

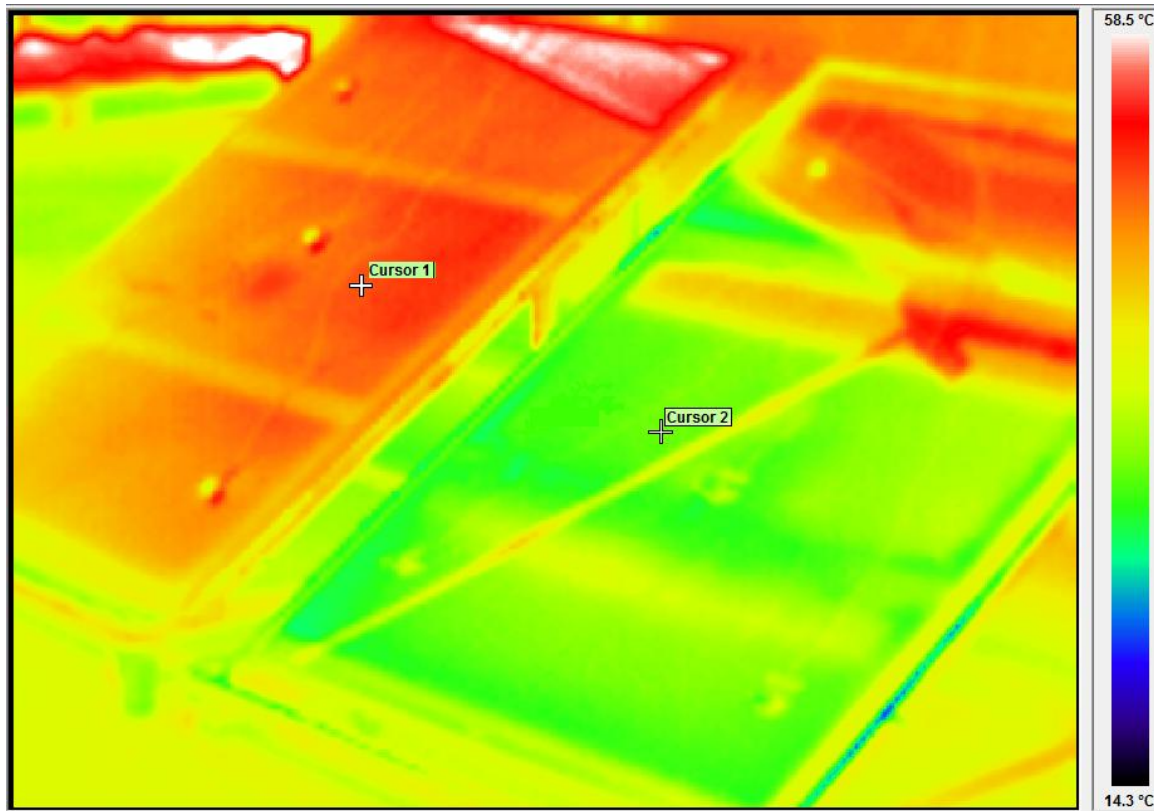
5.3 Φωτογραφίες από θερμοκάμερα

(28/4/2013, 11:00 μμ, 950 W/m²)



Εικόνα 5.3.1: (Απεικόνιση φωτοβολταϊκών μέσω θερμοκάμερας. Αριστερά φαίνεται το Φ/Β αναφοράς και δεξιά το Φ/Β-ΥΑΦ)

(27/4/2013, 14:00 μμ, 750 W/m²)



Εικόνα 5.3.2: (Απεικόνιση φωτοβολταϊκών μέσω θερμοκάμερας. Αριστερά φαίνεται το Φ/Β αναφοράς και δεξιά το Φ/Β-ΥΑΦ)

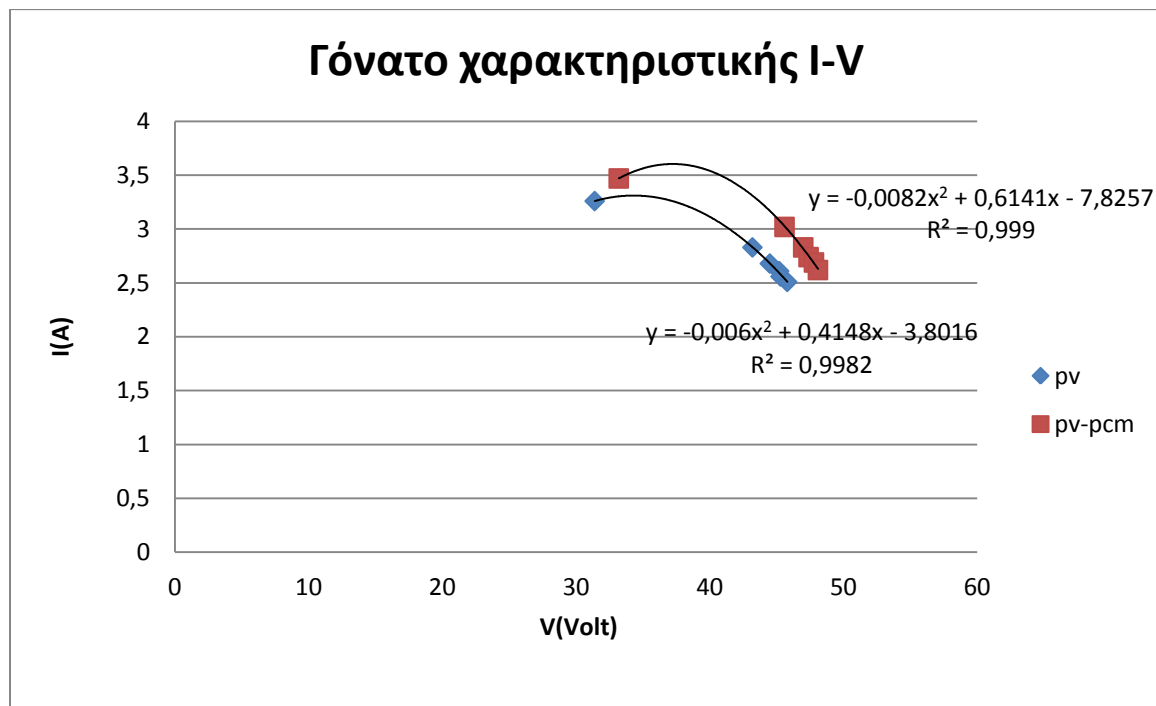
Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται η λειτουργία του ΥΑΦ στην πράξη με τη φωτογραφία της θερμοκάμερας. Όπως είναι εμφανές το Φ/Β-ΥΑΦ (δεξιά) έχει αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από το Φ/Β αναφοράς (αριστερά). Η φαινομενικά αυξημένη θερμοκρασία στο άνω μέρος και των δύο Φ/Β οφείλεται στην αντανάκλαση του κτηρίου που βρίσκεται πίσω από τα Φ/Β.

5.4 Απόδοση του Συστήματος

Έχει προαναφερθεί πως η απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου μειώνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας. Για να υπολογιστεί η απόδοση των Φ/Β όμως πρέπει πρώτα να υπολογιστούν τα I_{MPP} και V_{MPP} που αποτελούν τις τιμές μέγιστης έντασης και τάσης αντίστοιχα. Στο πείραμα λοιπόν που πραγματοποιήθηκε παρατηρήθηκαν τα παρακάτω σε ότι αφορά την απόδοση:

Πρώτη ημέρα μετρήσεων:

Ωρα 12:30μμ.



Διάγραμμα 5.4.1: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η πολυωνυμική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού που προκύπτει π.χ. για το Φ/Β-ΥΑΦ $y = -0,0082x^2 + 0,6141x - 7,8257$ (1) αποτελεί μία εξίσωση έντασης σε συνάρτηση με την τάση (x: τάση, y:ένταση). Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν με την τάση προκύπτει η ισχύς:

$$P = -0,0082x^3 + 0,6141x^2 - 7,8257x \quad (2)$$

Με παραγώγιση της (2) και εξίσωσή της με το 0 θα προκύψουν δύο τιμές για το V_{MPP} εκ των οποίων η μία θα απορριφθεί:

$$\frac{dP}{dx} = -0,0246x^2 + 1,2282x - 7,8257 \quad (3)$$

Με την επίλυση της (3) προκύπτουν δύο τιμές $x_1=7,49V$ και $x_2=42,43V$.

Είναι προφανές λοιπόν πως $V_{MPP}=42,43V$.

Αντικαθιστώντας την τιμή του V_{MPP} στην (1) προκύπτει η τιμή του $I_{MPP}=3,46A$.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογίστηκαν η ένταση του μέγιστου ρεύματος 3,12A ενώ η μέγιστη τάση 40,92V για το Φ/B αναφοράς.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 900 W/m².

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m².

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης του Φ/B αναφοράς που προκύπτει είναι :

$$n = \frac{V(MPP) \cdot I(MPP)}{A \cdot G} * 100\% = \frac{40,92 * 3,12}{1,4 * 900} * 100\% = 10,15\%$$

Κατ' όμοιο τρόπο υπολογίζεται η απόδοση για το Φ/B-ΥΑΦ. Οπότε τελικά προκύπτουν τα παρακάτω:

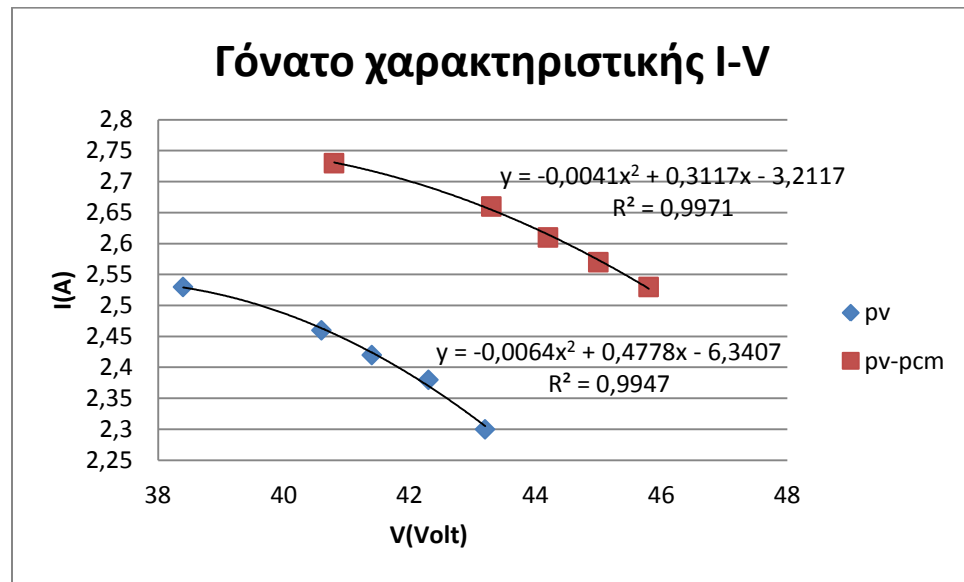
n=10,15% για το Φ/B αναφοράς και

n*=11,68% για το σύστημα Φ/B-ΥΑΦ

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονιστεί πως η διαφορά στην απόδοση είναι της τάξης του **1,53%** και οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά θερμοκρασίας.

Δεύτερη ημέρα μετρήσεων:

Ωρα 9:30πμ.



Διάγραμμα 5.4.2: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 790 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,52 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,44 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $44,86 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $41,89 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

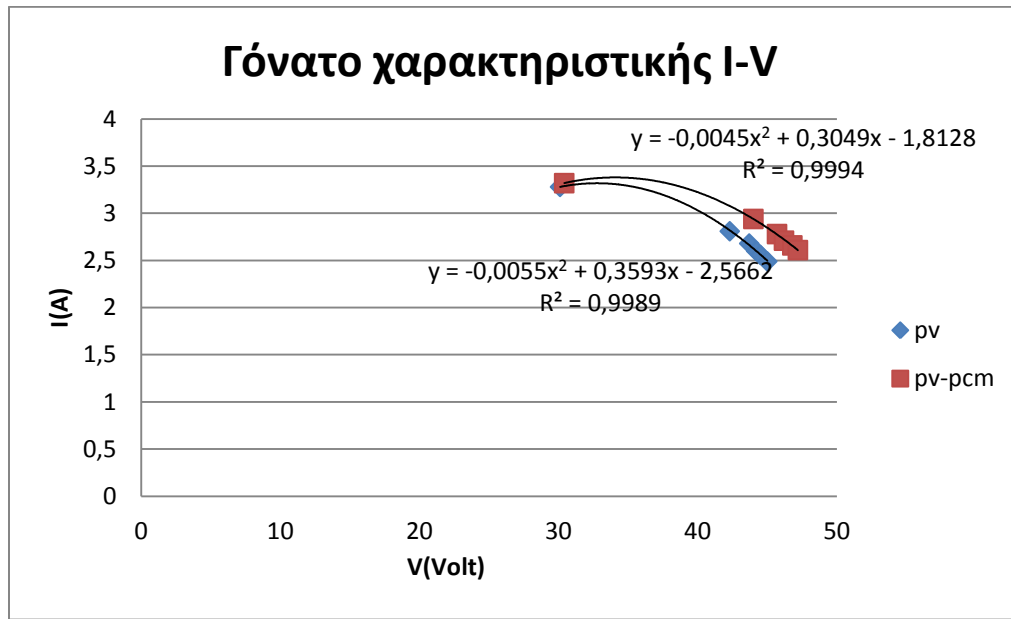
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 9,26\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 10,22\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,97\%$**

Ωρα 11:00πμ.



Διάγραμμα 5.4.3: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 910 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $3,06 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $3,04 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $41,97 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,63 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

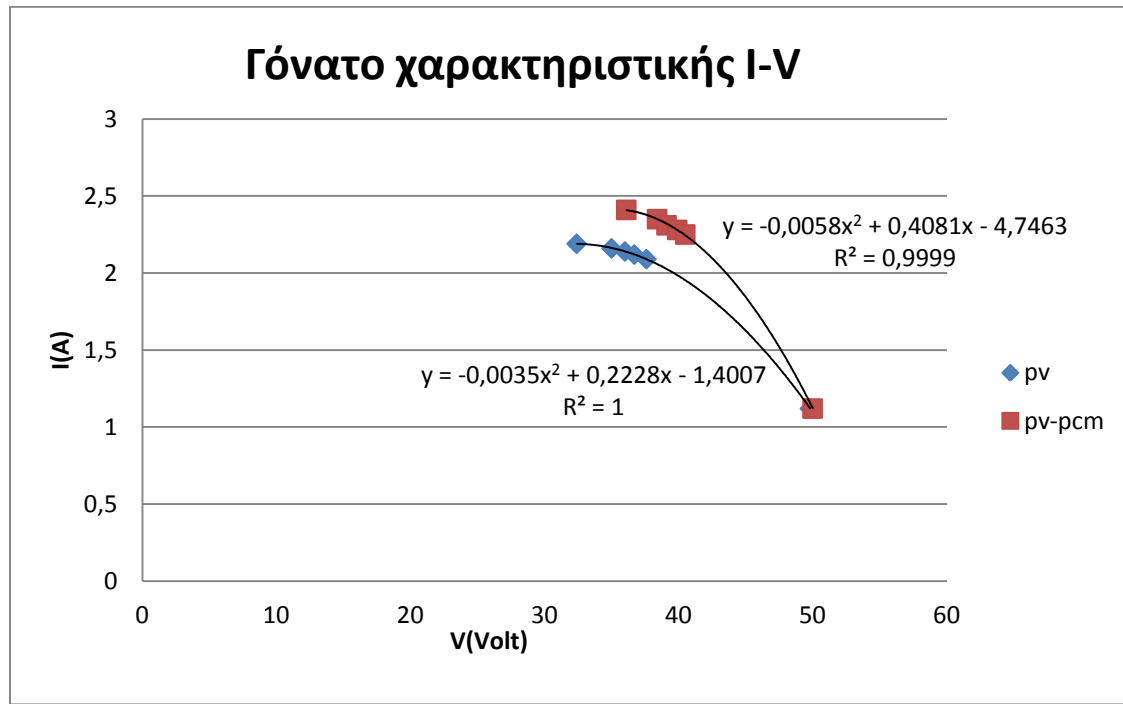
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 9,44\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 10,07\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,63\%$**

Ωρα 14:30μμ.



Διάγραμμα 5.4.4: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 730 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,29 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $1,96 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $40,11 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,02 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

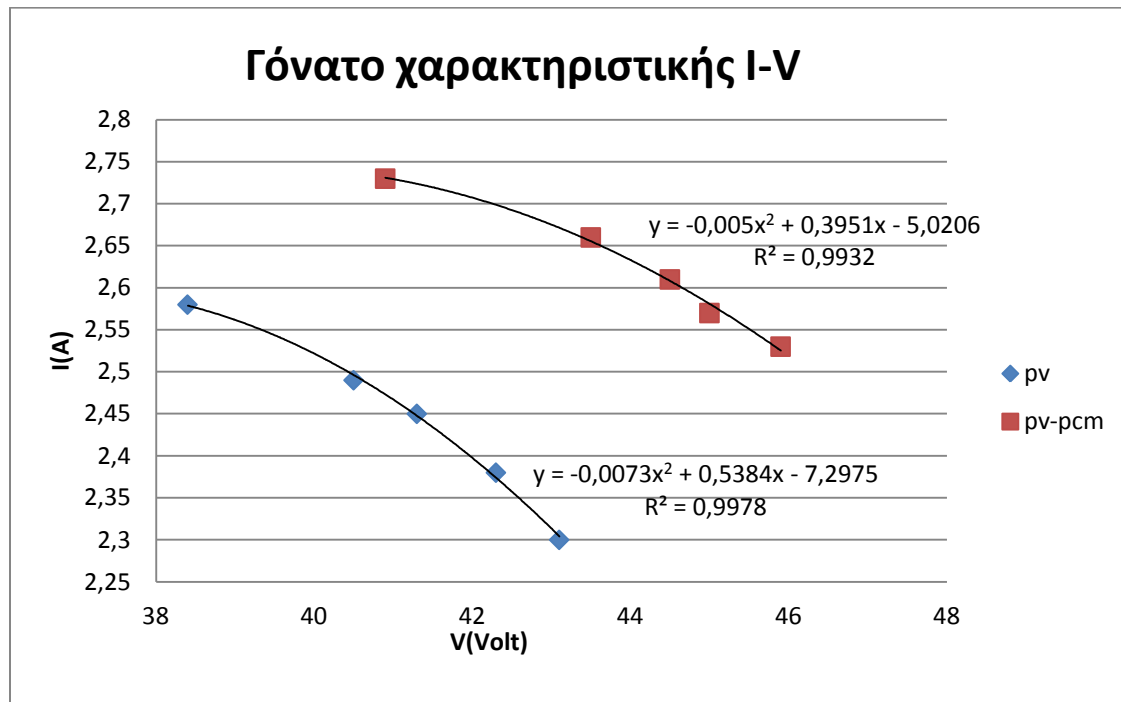
$n = 7,50\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 8,99\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 1,49\%$**

Τρίτη ημέρα μετρήσεων:

Ωρα 9:30πμ.



Διάγραμμα 5.4.5: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 780 W/m².

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε 2,62 A στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και 2,50A στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα 45,29V στο Φ/Β-ΥΑΦ και 41,05V στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m²

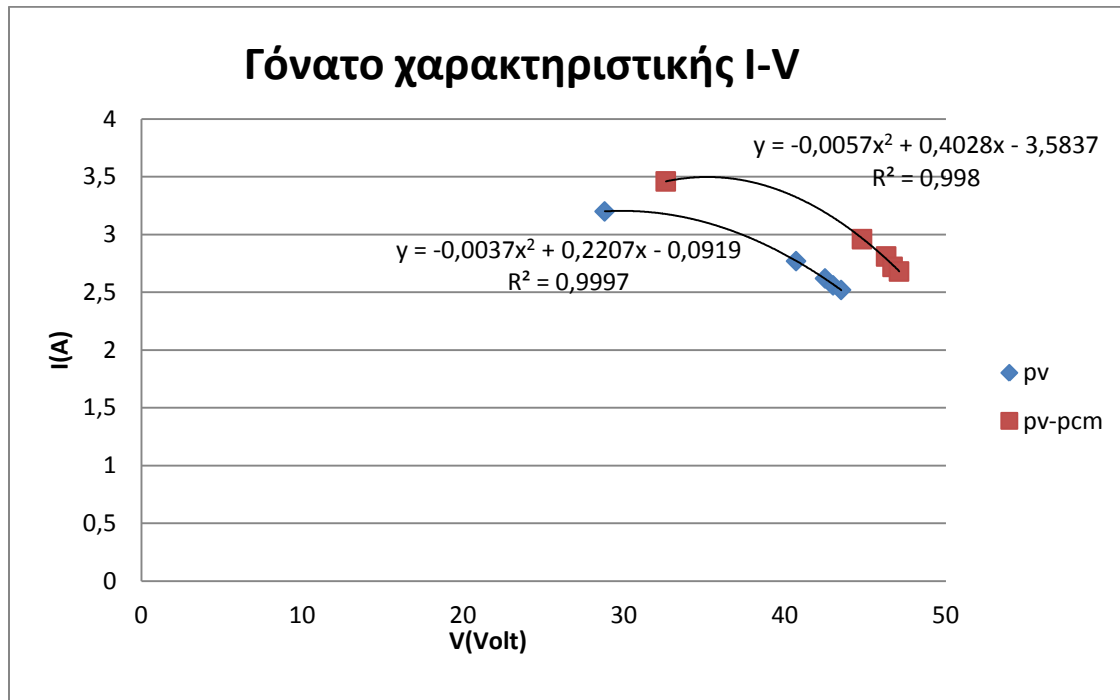
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

n= 9,41% για το Φ/Β αναφοράς και

n*= 10,86% για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **n*- n= 1,45%**

Ωρα 11:00πμ.



Διάγραμμα 5.4.6: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 950 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $3,27 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,85 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $42,14 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,56 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

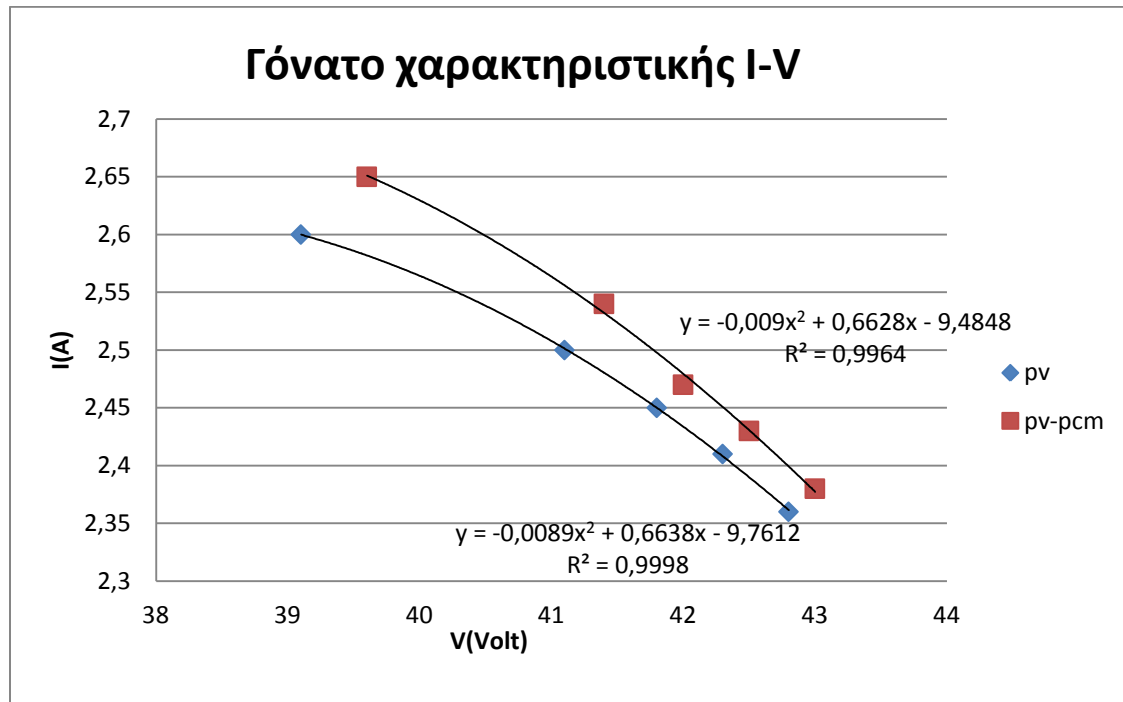
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 8,47\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 10,36\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 1,88\%$**

Ωρα 14:00μμ.



Διάγραμμα 5.4.7: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 795 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,60 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,51 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $40,40 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $40,75 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

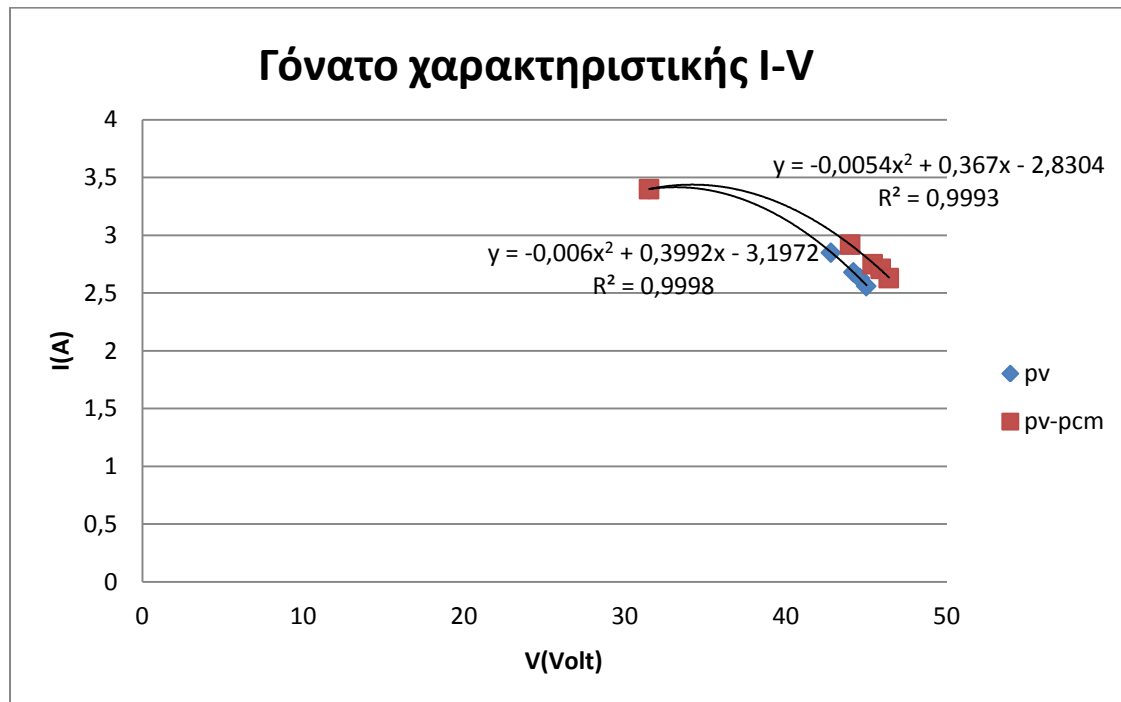
$n = 9,19\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 9,45\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,26\%$**

Τέταρτη ημέρα μετρήσεων:

Ωρα 11:00πμ.



Διάγραμμα 5.4.8: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 960 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $3,14 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $3,18 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $41,05 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,90 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

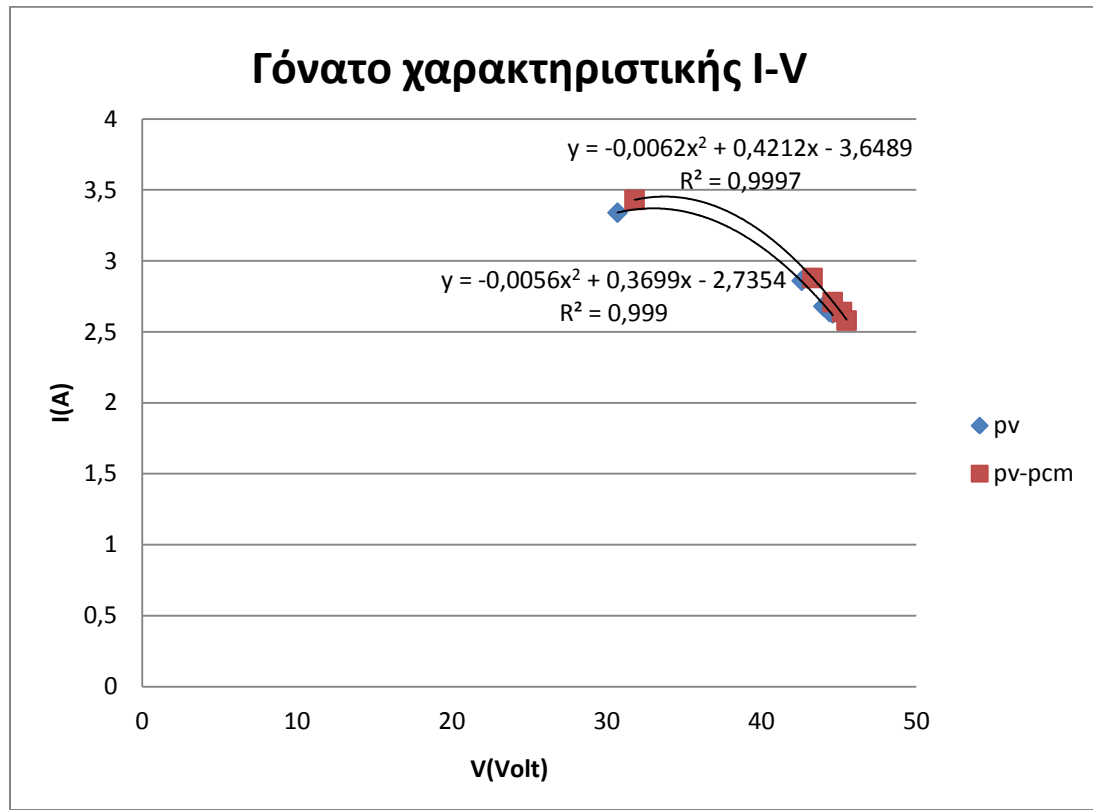
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 9,44\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 9,58\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,14\%$**

Ωρα 13:00μμ.



Διάγραμμα 5.4.9: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 970 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $3,25 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $3,10 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $40,44 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,96 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

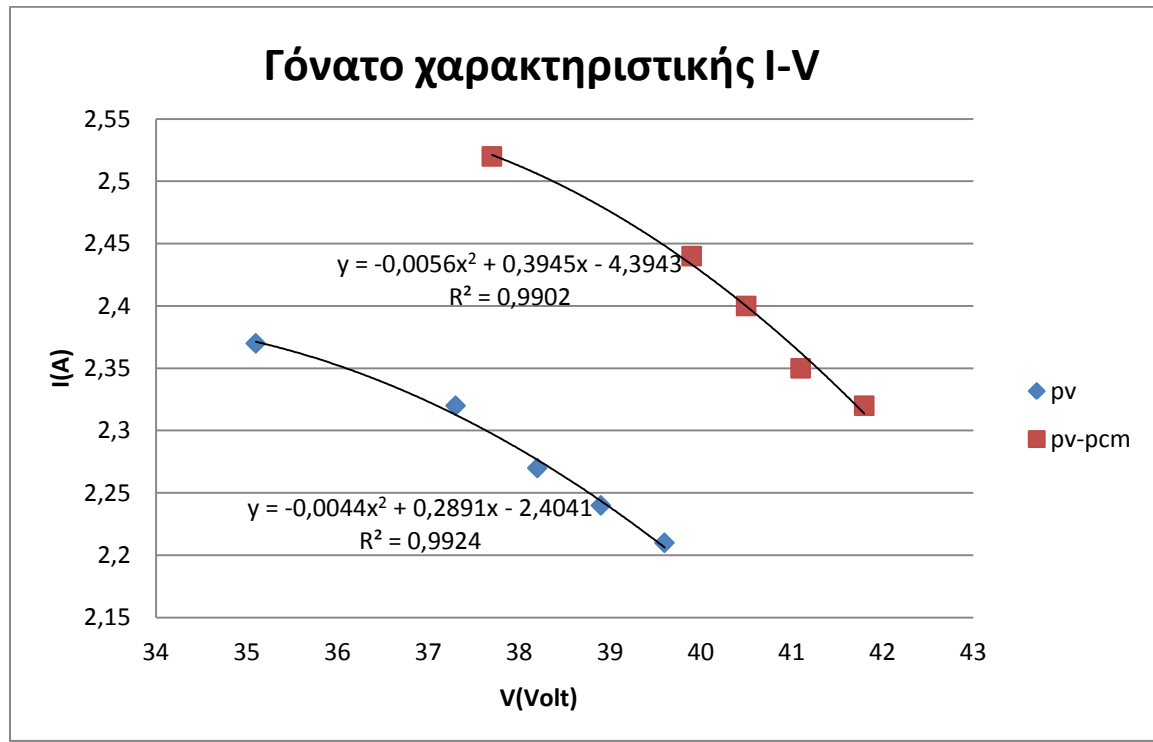
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 9,13\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 9,96\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,53\%$**

Ωρα 14:30μμ.



Διάγραμμα 5.4.10: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 750 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,40 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,17 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $40,51 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,15 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

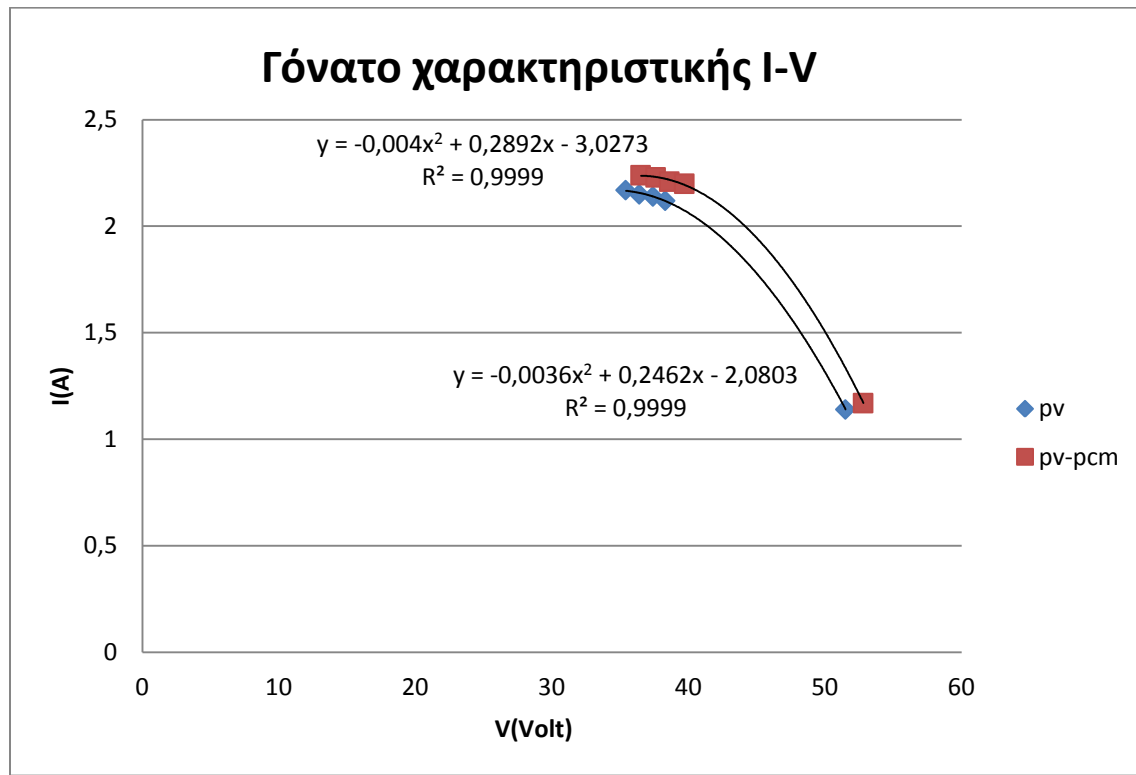
n= 8,09% για το Φ/Β αναφοράς και

n*= 9,25% για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **n*- n= 1,16%**

Πέμπτη ημέρα μετρήσεων:

Ωρα 8:30πμ.



Διάγραμμα 5.4.11: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 710 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,05 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $1,97 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $42,23 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $40,88 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή 1.4 m^2

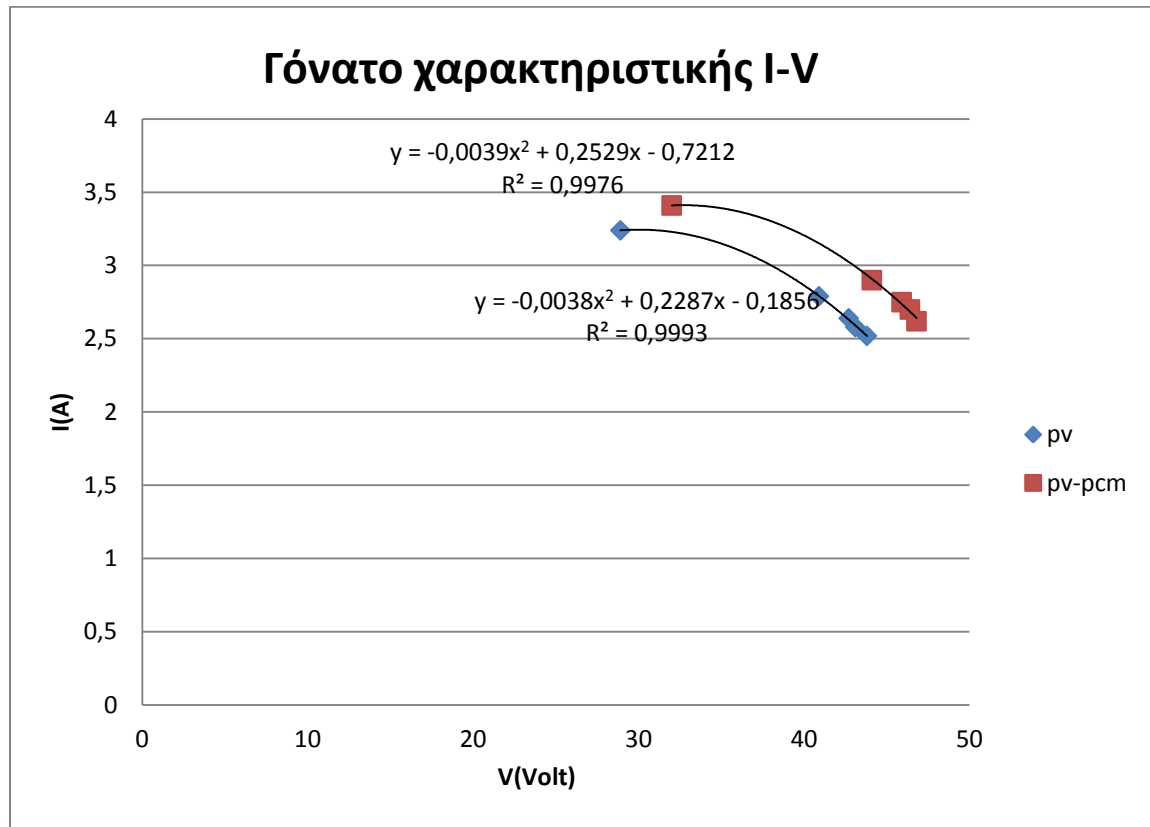
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 8,09\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 8,72\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,62\%$**

Ωρα 11:00πμ.



Διάγραμμα 5.4.12: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 950 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $3,04 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,9 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $41,75 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $39,71 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή $1,4 \text{ m}^2$

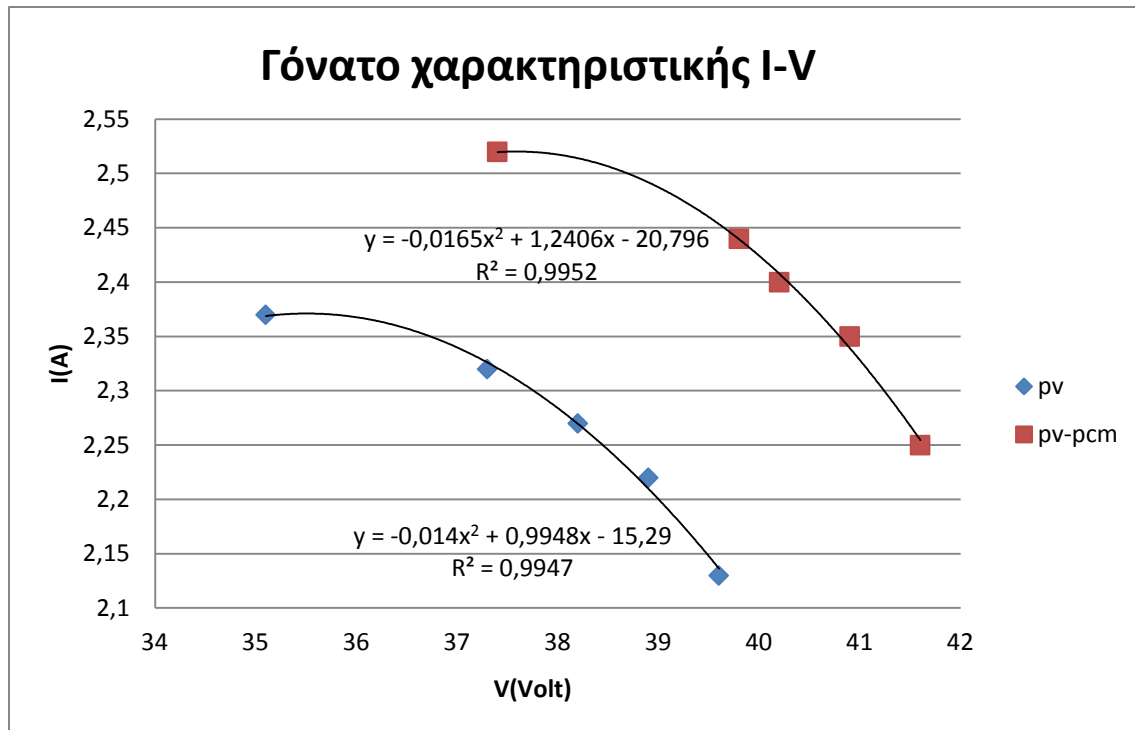
Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

$n = 8,67\%$ για το Φ/Β αναφοράς και

$n^* = 9,54\%$ για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **$n^* - n = 0,87\%$**

Ωρα 14:30πμ.



Διάγραμμα 5.4.13: (Γόνατο της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 750 W/m^2 .

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος υπολογίστηκε $2,46 \text{ A}$ στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ και $2,31 \text{ A}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η μέγιστη τάση υπολογίστηκε στα $39,49 \text{ V}$ στο Φ/Β-ΥΑΦ και $37,72 \text{ V}$ στο Φ/Β αναφοράς.

Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι σταθερή $1,4 \text{ m}^2$

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι :

n= 8,32% για το Φ/Β αναφοράς και

n*= 9,27% για το σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ.

Διαφορά στην απόδοση: **n*- n=0,95 %**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m ²)	Ampere (A) στο Φ/B αναφοράς	Ampere(A) στο σύστημα Φ/B-ΥΑΦ	Volt (V) στο Φ/B αναφοράς	Volt (V) στο σύστημα Φ/B-ΥΑΦ	Απόδοση % στο Φ/B αναφοράς	Απόδοση % στο σύστημα Φ/B- ΥΑΦ	Διαφορά στην απόδοση
900	3,12	3,47	40,93	42,43	10,15	11,68	1,53
790	2,44	2,52	41,89	44,86	9,26	10,22	0,97
910	3,04	3,06	39,63	41,97	9,44	10,07	0,63
730	1,96	2,29	39,02	40,11	7,50	8,99	1,49
780	2,50	2,62	41,05	45,29	9,41	10,86	1,45
950	2,85	3,27	39,56	42,14	8,47	10,36	1,88
795	2,51	2,60	40,75	40,40	9,19	9,45	0,26
960	3,18	3,14	39,90	41,05	9,44	9,58	0,14
970	3,10	3,25	39,96	40,44	9,13	9,66	0,53
750	2,17	2,40	39,15	40,51	8,09	9,25	1,16
710	1,97	2,05	40,88	42,23	8,09	8,72	0,62
950	2,90	3,04	39,71	41,75	8,67	9,54	0,87
750	2,31	2,46	37,72	39,49	8,32	9,27	0,95

6.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Η μέγιστη διαφορά στην απόδοση μεταξύ του Φ/Β αναφοράς και του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ που παρατηρήθηκε ήταν της τάξης του 1,88%. Όταν το Φ/Β αποδίδει στο 8,47% και επιδρώντας μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται αύξηση 1,88%, συμπεραίνουμε πως η αποτελεσματική ρύθμιση της θερμοκρασίας των Φ/Β είναι σημαντική. Υπήρχε εν γένει επαναληψιμότητα στις μετρήσεις. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί από τη στήλη των αποδόσεων στη σύνοψη των αποτελεσμάτων. Το ότι η μέγιστη διαφορά στην απόδοση στο σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ αγγίζει το 3% οφείλεται στην διαφορά στην ηλιακή ακτινοβολία (710 W/m^2 στη μία περίπτωση και 900 W/m^2 στην άλλη).
- Η απόδοση του Φ/Β αναφοράς είναι αρκετά κοντά στα technical data του Φ/Β (8,5%) με μέγιστη απόκλιση στην 1^η μέρα μετρήσεων (10,15%). Η απόδοση όμως του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ είναι σταθερά μεγαλύτερη από 8,5% με μέγιστη 11,68% την 1^η μέρα μετρήσεων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως τα Φ/Β βρισκόντουσαν στον 1^ο μήνα λειτουργίας τους οπότε και μπορεί να εξηγηθεί η απόδοση 10,15% στο Φ/Β αναφοράς την 1^η μέρα μετρήσεων σε ηλιακή ακτινοβολία 900 W/m^2 και σε θερμοκρασία 49°C καθώς, όπως αναφέρεται και στο technical data κατά τους πρώτους μήνες λειτουργίας είναι λογικό να αναμένεται λίγο μεγαλύτερη απόδοση από 8,5%.

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεραίνοντας, η θερμοκρασία εκτός από τον βαθμό απόδοσης επηρεάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη της φωτοβολταϊκής γεννήτριας: Την τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}), την τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (V_{MPP}), ελαφρώς το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος (I_{MPP}) και προφανώς την μέγιστη ισχύ (P_{MPP}).

Επιτεύχθηκε αύξηση της απόδοσης του συστήματος έως και **1,88%** και διαφορά στη θερμοκρασία λειτουργίας των δύο Φ/Β 10-15 °C σε μια αρκετά ζεστή ημέρα κάτι το οποίο σημαίνει πως το σύστημα ψύξης όχι μόνο λειτουργεί αλλά ελέγχοντας την αύξηση της θερμοκρασίας διατηρεί την απόδοση του Φ/Β/ΥΑΦ σε υψηλά επίπεδα. Θέτοντας την απόδοση του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ(11,68% την 1^η ημέρα μετρήσεων) σε άμεση σύγκριση με αυτή του technical data του Φ/Β(8,5%), παρατηρήθηκε μία σημαντική απόκλιση της τάξης του 3,18% που δικαιολογείται από την ψύξη του Φ/Β αλλά και από το γεγονός ότι το όλο σύστημα βρισκόταν στον 1^ο μήνα λειτουργίας του οπότε και αναμενόταν μία απόδοση ελαφρώς μεγαλύτερη του 8,5%.

Παρατηρήθηκε ότι η συγκεκριμένη διάταξη εξάντλησε την δυνατότητα λειτουργίας της μετά από 2:30 περίπου ώρες όταν ολοκληρώθηκε πλήρως η αλλαγή φάσης του διαθέσιμου υλικού. Συνεπώς προκύπτει ότι η απαιτούμενη ποσότητα του ΥΑΦ καθώς και η επιλογή του υλικού με βάση τη θερμοκρασία αλλαγής φάσης πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες και το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής. Πρέπει να σημειωθεί ότι το πείραμα έλαβε χώρα κατά την περίοδο της άνοιξης (μήνας Απρίλιος) και ότι ο αριθμός και τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι επαρκή και χαρακτηριστικά για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος μόνο για την περίοδο αυτή. Για να γενικευθούν όμως περαιτέρω τα συμπεράσματα που προέκυψαν χρειάζεται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και σε άλλες εποχές του έτους, καθώς η θερμοκρασία τήξης του υλικού παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητά του. Επίσης υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην μελέτη διαφορετικών ΥΑΦ ως μέσα ψύξης των Φ/Β αλλά και η διαφοροποίηση στο πάχος των κουτιών και κατά συνέπεια της χρησιμοποιούμενης ποσότητας ΥΑΦ.

Πρέπει να αναφερθεί βέβαια ότι η επιρροή της θερμοκρασίας δεν είναι η ίδια σε όλους τους τύπους Φ/Β. Για παράδειγμα, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα δεν παρουσιάζει πολύ μεγάλη απόκλιση στην ισχύ με την αύξηση της θερμοκρασίας (-0,24%/°C). Στην περίπτωση όμως πιο καινοτόμων Φ/Β όπως τα νέα μονοκρυσταλλικά με αποδόσεις που αγγίζουν το 21% η θερμοκρασία έχει μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση με αποτέλεσμα, αν εφαρμοστεί η μέθοδος που ακολουθήθηκε στο πείραμα να υπάρξει όφελος της τάξης του 5-7% σε πολύ ζεστές μέρες.

Εύλογα όμως θα προκύψει το ερώτημα: Είναι τελικά βιώσιμο ένα σύστημα Φ/Β-ΥΑΦ; Αν εξετασθεί το Φ/Β-ΥΑΦ ως μεμονωμένο σύστημα, όπως στο πείραμα, τότε λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής όλου του συστήματος ψύξης, η λύση δεν είναι βιώσιμη. Αν όμως ληφθεί υπόψιν ενδεχόμενη παραγωγή σε βιομηχανικό επίπεδο καθώς επίσης και η αναμενόμενη πτώση στο κόστος παραγωγής των ΥΑΦ τα οποία εισέρχονται πλέον στο χώρο των ενεργειακών κατασκευών τότε το συνολικό κόστος μπορεί να μειωθεί δραματικά και τελικά η λύση να καταστεί βιώσιμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αποστόλου Γεωργία, *Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (ΥΑΦ) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010.

Αποστόλου Αριστοτέλης, Ζαφειρίου Λάζαρος, *Μέθοδοι βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Μέτρηση του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων συναρτήσει της θερμοκρασίας*, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική σχολή, Θεσσαλονίκη, 2010.

Γκαγτζή Χ. Α., Κατριάδακη Κ. Ι., *"Μέτρηση βαθμού απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και μελέτη της εξάρτησής του από τη θερμοκρασία"*, διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ., 2008.

Γκέκας Βασίλειος, Πρωιμάκη Σπυριδούλα, *Φαινόμενα Μεταφοράς για Μηχανικούς Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2000.

Κανάκης Ιωάννης, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων*, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2011.

Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης, *"Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας"*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006.

Λύκος Δημήτριος, *Αριθμητικές Μέθοδοι Μοντελοποίησης Υλικών Αλλαγής Φάσης*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2007.

Μανδηλαράς, Ι., *Phase Change Energy Storage: Phase Change Materials, Measurements and Applications*, Μεταπτυχιακή εργασία ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006.

Μαχαίρα Ελένη, *Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας Με Χρήση Υλικών Αλλαγής Φάσης ΥΑΦ*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010.

Ντάβου Έρικα, *Τα Υλικά Αλλαγής Φάσης ως Μέσα Διαχείρισης κι Εξοικονόμησης Ενέργειας. Εφαρμογή τους στη Μόνωση Κτιρίων*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2009.

Πριγκηπάς Δημήτριος, *Ανάπτυξη Υπολογιστικών Εργαλείων για την Προσομοίωση Χαρακτηριστικών Ροής σε Συστήματα με Ταυτόχρονη Αποθήκευση Ενέργειας*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2012.

Ρίζος Νικόλαος, *Προσδιορισμός Θέσης Διεπιφάνειας Στερεού- Υγρού, σε Υλικό Αλλαγής Φάσης με το Εμπορικό Πακέτο FLUENT*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2011.

Τρυπαναγνωστόπουλος Ι., Τζαβέλλας Δ., Ζούλια Ε., *ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ/ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΑ*, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Τσούτσος Θεοχάρης, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιβάλλον, Διδακτικές Σημειώσεις*, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2008.

Φραγκιαδάκης Ι.Ε., *"Φωτοβολταϊκά Συστήματα"*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2007.

Φωκιανού Παναγιώτα, *Παραμετρική Μελέτη Συστήματος Ηλιακής Θέρμανσης Νερού Χρήσης με Υλικά Αλλαγής Φάσης (P.C.Ms)*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2011.

Ciulla Giuseppina, Lo Brano Valerio, Cellura Maurizio, Franzitta Vincenzo, Milone Daniele. *A finite difference model of a PV-PCM system*, Dipartimento dell'Energia, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy, 2012.

Farahat M.A. , *IMPROVEMENT THE THERMAL ELECTRIC PERFORMANCE OF A PHOTOVOLTAIC CELLS BY COOLING AND CONCENTRATION TECHNIQUES*, Zagazig University, Zagazig, Egypt.

Gkouskos Zacharias, Tsoutsos Theocharis, Kakouriotis Alexandros, *INTEGRATING PHASE CHANGE MATERIALS TO PHOTOVOLTAICS IN A MEDITERRANEAN REGION*, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2012.

Halime O. Paksoy, *Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design*, NATO Science Series, Springer publications, 2007.

Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, B. Norton. *Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics.* Solar Energy, Vol. 84, pp 1601–1612, 2010.

Huang M. J. *Two Phase Change Material with Different Closed Shape Fins in Building Integrated Photovoltaic System Temperature Regulation*, World Renewable Energy Congress, Sweden, 2011.

Huang Ming Jun , Hewitt Neil, *Effect of using two PCMs on the thermal regulation performance of BIPV systems*, Centre for Sustainable Technologies, School of Built Environment, University of Ulster, N. Ireland, UK, 2011.

Mehling, Cabeza, *Heat and Cold storage with PCM*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

Morita Y., Fujisawa T., Tani T., *Moment performance of photovoltaic/thermal hybrid panel (numerical analysis and exergetic evaluation)*, Electrical Engineering in Japan, 2000.

Rubitherm Technologies GmbH, RUBITHERM® RT, Phase Change Material based on n-Paraffins and Waxes.

Sharp Energy Solution. Datasheet Sharp zonnepaneel NA-F121(G5) 121 Wp. Hamburg, Germany, Europe.

Simone Raoux, Matthias Wuttig, *Phase Change Materials, Science and Applications*, Springer, 2009.

Tripanagnostopoulos Y., Nousia TH., Souliotis M. and Yianoulis P., *"Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems"* Physics Department, University of Patras, October 2001.