



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΜΠΡΙΝΤΑΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής **ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ** (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής **ΜΙΧΑΗΛ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ**

Καθηγητής **ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ**

ΧΑΝΙΑ, 2018



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ευχαριστίες,

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή, Θεοχάρη Τσούτσο, για τη στήριξή του και ιδιαιτέρως τον υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Σαββάκη για την πολύτιμη βοήθειά και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής αυτής της διπλωματικής. Τέλος, οφείλω τα θερμά μου ευχαριστήρια στους γονείς μου για την συμπαράσταση και κυρίως για την αστείρευτη υπομονή που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια προκειμένου να επέλθει αυτή η πολυπόθητη απόκτηση του πτυχίου μου.

Μπριντάκης Κων/νος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η δυνατότητα ενσωμάτωσης των Υλικών Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) ως σύστημα παθητικής ψύξης, σε φωτοβολταϊκά πλαίσια, καθώς και η επίδραση τους στην ενεργειακή τους απόδοση κατά τη φάση λειτουργίας τους. Δεδομένου ότι, η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου μειώνεται σημαντικά από την αύξηση της θερμοκρασίας του, τα τελευταία χρόνια κρίνεται επιτακτική η διαχείριση της με διάφορες τεχνικές.

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας εξελίχθηκε σε 2 φάσεις διεξαγωγής πειραμάτων:

- Στην πρώτη φάση, έγινε συγκριτική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με σύστημα παθητικής ψύξης και ενός συμβατικού πλαισίου. Το σύστημα ψύξης αποτέλεσε μια ειδική διάταξη πληρωμένη με ΥΑΦ η οποία εφαρμόζεται στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- Στο δεύτερο μέρος του πειράματος, πραγματοποιήθηκε σειρά πειραματικών μετρήσεων για να καταστεί εφικτή η σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης τεσσάρων (4) φωτοβολταϊκών πλαισίων σε καθένα εκ των οποίων είχε τοποθετηθεί διάταξη ψύξης και ΥΑΦ με διαφορετικά χαρακτηριστικά ενώ ένα Φ/Β χρησιμοποιήθηκε ως αναφοράς.

Οι μετρήσεις και στις 2 φάσεις διενεργήθηκαν κάνοντας χρήση ηλεκτρονικής συσκευής του Εργαστηρίου "Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων" και του λογισμικού Realterm.

Αρχικά, γίνεται μια γενική αναφορά στο θέμα των ΑΠΕ καθώς και του Φ/Β φαινομένου, έπειτα παρουσιάζονται παρόμοιες τεχνικές που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν σχετικά με τη χρήση των ΥΑΦ στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Επιπλέον, περιέχονται κάποια θεωρητικά στοιχεία γύρω από τα ΥΑΦ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων και πινάκων, και έπειτα γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση τους προκειμένου να προκύψουν κάποια συμπεράσματα. Τέλος, γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση της παρούσας μελέτης, καθώς οι εφαρμογές ΥΑΦ βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο.

ABSTRACT

In this diploma thesis we investigated the possibility of incorporating Phase Change Materials (PCM) as a passive cooling system in photovoltaic panels, as well as their effect on their energy efficiency during their operational phase. Since the performance of a photovoltaic panel has been greatly reduced by the increase in its temperature, management has been imperative in recent years with various techniques.

The implementation of this work has evolved into 2 phases of experimentation:

- In the first phase, a comparative assessment of the experimental results of a passive cooling system and a conventional frame was made. The cooling system was a special device filled with PCM applied to the back of the photovoltaic panel.
- In the second part of the experiment, a series of experimental measurements were made to make it possible to compare the energy efficiency of four (4) photovoltaic panels in each of which a refrigeration device and a PCM with different characteristics were installed, while a PV was used as a reference.

Measurements in both phases were performed using an electronic device of “the Renewable and Sustainable Energy Systems Laboratory” and the Realterm software.

Initially, a general reference is made to the issue of Renewable Energy Sources as well as to the PV phenomenon, then similar techniques have been developed in the past regarding the use of Phase Change Materials in photovoltaic panels. In addition, some theoretical elements are included around the PCMs. The results are presented in the form of diagrams and tables, and then analyzed and evaluated in order to obtain some conclusions. Finally, reference is made to specific proposals for further exploitation of the present study, as PCM applications are at an early stage.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Προσέγγιση προβλήματος.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	15
2.1 Σημείο μέγιστης ισχύος	15
2.2 Παράγων πλήρωσης Φ/Β στοιχείου	15
2.3 Επίδραση θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα	16
2.4 Υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	18
3.1 Σχέση θερμοκρασίας - απόδοσης Φ/Β πλαισίου	18
3.2 Εφαρμογές σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές	18
3.3 Εφαρμογή με δύο ΥΑΦ	21
3.4 Παραλλαγή εφαρμογής με δύο ΥΑΦ	23
3.5 Μοντελοποίηση	23
3.6 Συστήματα ψύξης.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	28
4.1 Σκοπός του πειράματος	28
4.2 Επιλογή των μέσων που χρησιμοποιήθηκαν	28
4.2.1 Φ/Β πλαίσια.....	28
4.2.2 Υλικά αλλαγής φάσης.....	30
4.2.3 Λογισμικό	31
4.2.4 Συσκευή μεταβλητών αντιστάσεων	31
4.2.5 Πυρανόμετρο	32
4.2.6 Ψηφιακό θερμόμετρο	32

4.2.7 Θερμοκάμερα	33
4.3 Απόδοση Φ/Β πλαισίου	34
4.4 Πειραματική διάταξη	34
4.5 Διάγραμμα ροής	35
4.6 Περιγραφή του πειράματος	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
5.1 Αποτελέσματα 1 ^{ης} Φάσης πειράματος.....	38
22/2/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός)	38
23/3/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος)	42
6/4/17(καιρός συννεφιασμένος, άνεμος ισχυρός).....	46
2/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)	50
4/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός)	54
11/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)	58
23/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος- μέτριος).....	62
24/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος ασθενής - μέτριος).....	66
1/6/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος).....	70
5.2 Αποτελέσματα 2 ^{ης} Φάσης πειράματος	74
12/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος ασθενής- σχεδόν μέτριος)	74
13/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος).....	78
11/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87
1η Φάση.....	87
2η Φάση.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90
INTERNET SITES	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	93
1 ^η φάση.....	93
2 ^η φάση.....	111

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης με μεταλλικά κελιά	22
Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση των διατάξεων που προσομοιώθηκαν	23
Εικόνα 3 τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη	25

Εικόνα 4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλαισίου NA-E130L5	29
Εικόνα 5 διαστάσεις μικρών Φ/Β πλαισίων	30
Εικόνα 6 Διάταξη I-V tracer	31
Εικόνα 7 Πυρανόμετρο CMP3	32
Εικόνα 8 Ψηφιακό θερμόμετρο HH309A	32
Εικόνα 9 Η θερμοκάμερα IRYSIS 4000	33
Εικόνα 10 Το Φ/Β σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στη πρώτη φάση του πειράματος	34
Εικόνα 11 Τα Φ/Β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στη 2η φάση του πειράματος	35
Εικόνα 12 Διάγραμμα ροής πειράματος	35
Εικόνα 13 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 11.00	38
Εικόνα 14 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 9.00....	42
Εικόνα 15 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.00..	46
Εικόνα 16 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 12.10..	50
Εικόνα 17 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.00..	54
Εικόνα 18 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.10..	58
Εικόνα 19 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 9.00....	62
Εικόνα 20 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.10..	66
Εικόνα 21 Θερμική απεικόνιση Φ/Β πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 11.40..	70
Εικόνα 22 Θερμική απεικόνιση Φ/Β δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 12.00	74
Εικόνα 23 Θερμική απεικόνιση Φ/Β δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 12.00	78
Εικόνα 24 Θερμική απεικόνιση Φ/Β δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 11.00	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V	15
Διάγραμμα 2 μεταβολή του διαγράμματος I-V με την αύξηση της θερμοκρασίας .	16
Διάγραμμα 3 γραφικές παραστάσεις P-V σε διάφορες θερμοκρασίες	17
Διάγραμμα 4 καιρικές συνθήκες (22/2/17)	39
Διάγραμμα 5 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	39
Διάγραμμα 6 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο...	40
Διάγραμμα 7 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.50	41
Διάγραμμα 8 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.50	41
Διάγραμμα 9 καιρικές συνθήκες (23/3/17)	43
Διάγραμμα 10 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	43
Διάγραμμα 11 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	44
Διάγραμμα 12 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20	45
Διάγραμμα 13 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20	45
Διάγραμμα 14 καιρικές συνθήκες (6/4/17)	47
Διάγραμμα 15 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	47

Διάγραμμα 16 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	48
Διάγραμμα 17 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 12.10	49
Διάγραμμα 18 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.10	49
Διάγραμμα 19 καιρικές συνθήκες (2/5/17)	51
Διάγραμμα 20 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	51
Διάγραμμα 21 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με τον χρόνο	52
Διάγραμμα 22 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.40	53
Διάγραμμα 23 τάση- ένταση για τη μέτρηση στις 10.40.....	53
Διάγραμμα 24 καιρικές συνθήκες (4/5/2017)	55
Διάγραμμα 25 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	55
Διάγραμμα 26 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	56
Διάγραμμα 27 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20	57
Διάγραμμα 28 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20	57
Διάγραμμα 29 καιρικές συνθήκες (11/5/2017)	59
Διάγραμμα 30 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	59
Διάγραμμα 31 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	60
Διάγραμμα 32 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.10	61
Διάγραμμα 33 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.10	61
Διάγραμμα 34 καιρικές συνθήκες (23/5/2017)	63
Διάγραμμα 35 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	63
Διάγραμμα 36 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	64
Διάγραμμα 37 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.30	65
Διάγραμμα 38 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.30	65
Διάγραμμα 39 καιρικές συνθήκες (24/5/2017)	67
Διάγραμμα 40 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	67
Διάγραμμα 41 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	68
Διάγραμμα 42 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.50	69
Διάγραμμα 43 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.50	69
Διάγραμμα 44 καιρικές συνθήκες (1/6/2017)	71
Διάγραμμα 45 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο	71
Διάγραμμα 46 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο .	72
Διάγραμμα 47 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20	73
Διάγραμμα 48 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20	73
Διάγραμμα 49 καιρικές συνθήκες (12/7/2017)	75
Διάγραμμα 50 θερμοκρασία - ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για κάθε πλαίσιο	75
Διάγραμμα 51 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου.....	76
Διάγραμμα 52 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 12.30.....	77

Διάγραμμα 53 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.30	77
Διάγραμμα 54 καιρικές συνθήκες (13/7/2017)	79
Διάγραμμα 55 θερμοκρασία – ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για κάθε πλαίσιο	79
Διάγραμμα 56 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	80
Διάγραμμα 57 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 12.10.....	81
Διάγραμμα 58 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.10	81
Διάγραμμα 59 καιρικές συνθήκες (11/7/2017)	83
Διάγραμμα 60 θερμοκρασία - ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για κάθε πλαίσιο	83
Διάγραμμα 61 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	84
Διάγραμμα 62 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 10.50.....	85
Διάγραμμα 63 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.50	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν	19
Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά των δοχείων που κατασκευάστηκαν για τη μελέτη]	19
Πίνακας 3 Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου ΥΑΦ	20
Πίνακας 4 Θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών	22
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη	25
Πίνακας 6 Έρευνες εφαρμογής ΥΑΦ σε Φ/Β πλαίσια.....	26
Πίνακας 7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά NA-E130L5 σε STC	28
Πίνακας 8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά LX – 10P σε STC.....	29
Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά PCMRT27/ PCMRT31/PCMRT35.....	30
Πίνακας 10 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	42
Πίνακας 11 Παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	46
Πίνακας 12 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	50
Πίνακας 13 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	54
Πίνακας 14 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	58
Πίνακας 15 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	62
Πίνακας 16 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	66
Πίνακας 17 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	70
Πίνακας 18 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	74

Πίνακας 19 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	78
Πίνακας 20 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	82
Πίνακας 21 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων.....	86
Πίνακας 22 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (22/2/17)	93
Πίνακας 23 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά - χρόνος(22/2/17)	94
Πίνακας 24 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (23/3/17)	95
Πίνακας 25 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά – χρόνος(23/3/17)	96
Πίνακας 26 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (6/4/17)	97
Πίνακας 27 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά - χρόνος(6/4/17)	98
Πίνακας 28 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (2/5/17)	99
Πίνακας 29 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά - χρόνος(2/5/17)	100
Πίνακας 30 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (4/5/17)	101
Πίνακας 31 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά - χρόνος(4/5/17)	102
Πίνακας 32 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B – V - ακτινοβολία (Ht) (11/5/17)	103
Πίνακας 33 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά – χρόνος(11/5/17)	104
Πίνακας 34 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V – ακτινοβολία (Ht) (23/5/17)	105
Πίνακας 35 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά – χρόνος(23/5/17)	106
Πίνακας 36 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V - ακτινοβολία (Ht) (24/5/17)	107
Πίνακας 37 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά – χρόνος (24/5/17)	108
Πίνακας 38 μέγιστη ισχύς P για κάθε Φ/B - V - ακτινοβολία (Ht) (1/6/17)	109
Πίνακας 39 θερμοκρασίες για κάθε Φ/B ξεχωριστά - χρόνος(1/6/17)	110
Πίνακας 40 μέγιστη ισχύς P για κάθε πλαίσιο - ακτινοβολία(Ht) - V (12/7/17)	111
Πίνακας 41 θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(12/7/17)	112
Πίνακας 42 μέγιστη ισχύς P για κάθε πλαίσιο - ακτινοβολία(Ht) - V (9/7/17)	113
Πίνακας 43 θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(9/7/17)	114
Πίνακας 44 μέγιστη ισχύς κάθε πλαισίου - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο(11/7/17)	115
Πίνακας 45 θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(11/7/17)	116

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Φ/Β	Φωτοβολταϊκό
ΥΑΦ	Υλικά αλλαγής φάσης
p_v	photovoltaic
p_{cm}	Phase change material
°C	Θερμοκρασία
I	Ένταση
V	Τάση
P	Ισχύς
h_t	Ακτινοβολία
S	Εμβαδόν πλαισίου
E	η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου
kJ	Ενέργεια
kg	Μάζα
P_{out}	παραγόμενη ισχύς
P_{in}	προσφερόμενη ισχύς από τον ήλιο.
W	Ισχύς
m	Μήκος
V_{oc}	τάση ανοιχτού κυκλώματος
I_{sc}	ρεύμα βραχυκύκλωσης
FF	παράγων πλήρωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Προσέγγιση προβλήματος

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με όσο το δυνατόν πιο φιλικές, προς το περιβάλλον, μεθόδους, πρέπει να αποτελεί τον πρώτιστο στόχο της σημερινής ανεπτυγμένης κοινωνίας, εφόσον οι αρνητικές επιπτώσεις των πετρελαιομένων και ήδη εφαρμοζόμενων μεθόδων για την παραγωγή της, όπως η χρήση ορυκτών καυσίμων, άρχισαν να έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην καθημερινότητα και στην ποιότητα της ζωής μας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το όλο και περισσότερο διογκούμενο κόστος εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων, η επιτακτική ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας οδήγησαν στην ανάπτυξη και χρήση νέων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της επονομαζόμενης <<πράσινης>> ανάπτυξης και εν τέλει στην εισαγωγή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην καθημερινότητα μας.

Έτσι ξεκίνησε η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Τα μηδενικά επίπεδα επιπτώσεων στο περιβάλλον σε συνδυασμό με την άφθονη και δωρεάν προσφορά ηλιακής ακτινοβολίας καθιστούν τα συστήματα αυτά εξαιρετική λύση του ενεργειακού, και περιβαλλοντικού προβλήματος που έχει προκύψει. Η εξέλιξη της τεχνολογίας βοηθά στη καθιέρωση φωτοβολταϊκών και τη μετατροπή τους σε έναν όλο και πιο ανταγωνιστικό τρόπο παραγωγής ενέργειας, με πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των συμβατικών ρυπογόνων τρόπων παραγωγής ενέργειας.

Χάρης στην επιστημονική έρευνα και μέσω κατάλληλων πειραμάτων, έχει αποδειχθεί πως αύξηση της θερμοκρασίας στα Φ/Β πλαίσια οδηγεί στη μείωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Πιο απλά, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με αρκετές απώλειες, όταν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λειτουργούν υπό συνθήκες και καθεστώς υψηλών θερμοκρασιών.

Το εκάστοτε φωτοβολταϊκό στοιχείο, είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες, όπως για παράδειγμα η κατάλληλη θερμοκρασία λειτουργίας, που υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή και συνήθως έχει τιμή 25°C. Όταν, στην επιφάνεια του στοιχείου, η θερμοκρασιακή αυτή τιμή ξεπεραστεί, η απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, μειώνεται. Η επιστημονική εμπειρία έχει δείξει πως όταν η θερμοκρασία των πλαισίων εξυψώνεται υπερβολικά, σημειώνεται μείωση της απόδοσης τους κατά 0,4-0,65% ανά βαθμό °C. Γνωρίζοντας πως η θερμοκρασία ενός πλαισίου πολλές φορές αγγίζει τιμές που προσεγγίζουν μέχρι και στους 70°C διαπιστώνεται η αναγκαιότητα εύρεσης βιώσιμης λύσης για τη ψύξη αυτών.

Για να αποφευχθεί λοιπόν το πρόβλημα υπερθέρμανσης των Φ/Β πλαισίων και συνεπώς η μείωση απόδοσης τους, υφίσταται η δυνατότητα εισαγωγής των Υλικών Αλλαγής Φάσης σε φωτοβολταϊκά πλαίσια, ως σύστημα παθητικής ψύξης αυτών, γεγονός που συμβάλλει στην τήρηση θερμοκρασίας των πλαισίων σε

σταθερά επίπεδα. Έτσι επιτυγχάνεται η λειτουργία του Φ/Β συστήματος σε θερμοκρασιακές συνθήκες που προσεγγίζουν αυτές που προβλέπονται από τον κατασκευαστή, συνεισφέροντας στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Τα ΥΑΦ αποτελούν έναν απλό και φθηνό τρόπο απορρόφησης της εξέχουσας θερμότητας και εν ολίγοις έναν πολύ καλό τρόπο ψύξης των πλαισίων.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η χρήση των ΥΑΦ ως σύστημα παθητικής ψύξης φωτοβολταϊκών πλαισίων προκειμένου να επιτευχθεί η βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Σκοπός του παρόντος πειράματος ήταν η μελέτη επίδρασης των ΥΑΦ ως σύστημα παθητικής ψύξης σε Φ/Β πλαίσια και η σχέση τους με τη βελτίωση της απόδοσης τους. Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας περιλάμβανε 2 φάσεις διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων.

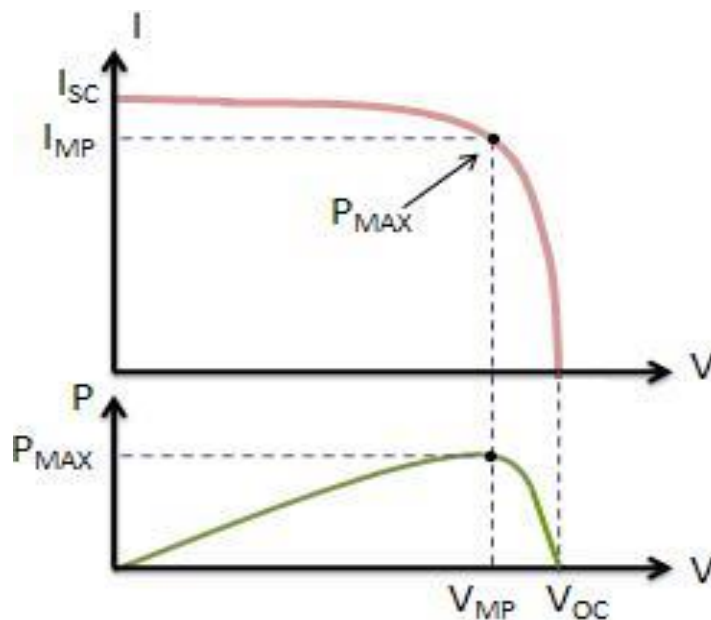
Στην πρώτη φάση, έγινε συγκριτική αξιολόγηση των τιμών της θερμοκρασίας, της ισχύος και της απόδοσής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με σύστημα παθητικής ψύξης και ενός συμβατικού πλαισίου. Το σύστημα ψύξης αποτέλεσε μια ειδική διάταξη πληρωμένη με ΥΑΦ προσαρμοσμένη στα μετόπισθεν του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Στο δεύτερο μέρος του πειράματος, πραγματοποιήθηκε σειρά πειραματικών μετρήσεων για να καταστεί εφικτή η σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης, της θερμοκρασίας και της ισχύος τεσσάρων (4) φωτοβολταϊκών πλαισίων σε καθένα εκ των οποίων είχε τοποθετηθεί διάταξη ψύξης και ΥΑΦ με διαφορετικά χαρακτηριστικά ενώ ένα Φ/Β χρησιμοποιήθηκε ως πλαίσιο αναφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Σημείο μέγιστης ισχύος

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο εκτεθεί στην ηλιακή ακτινοβολία παράγει ένα δυναμικό V_{oc} στα άκρα του και σε περίπτωση που κλείσουμε το κύκλωμα με έναν ιδανικό αγωγό μηδενικής αντίστασης παράγει ρεύμα έντασης I_{sc} . Το V_{oc} (open circuit) λέγεται τάση ανοιχτού κυκλώματος και το I_{sc} (shortcircuit) λέγεται ρεύμα βραχυκύκλωσης. V_{oc} και I_{sc} είναι η **μέγιστη τάση** και **ένταση** αντίστοιχα (διάγραμμα 1). Πρέπει να προσαρμόσουμε την αντίσταση του τροφοδοτούμενου κυκλώματος προκειμένου η τάση και η ένταση του ρεύματος να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης λειτουργίας. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανάλογο της πυκνότητας E της ισχύος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο πλαίσιο. [Φραγκιαδάκης, 2007]



Διάγραμμα 1 χαρακτηριστικές καμπύλες I - V και P - V [National Instruments, 2014]

2.2 Παράγων πλήρωσης Φ/B στοιχείου

Το εμβαδόν που εσωκλείεται στη καμπύλη του διαγράμματος τάσης - έντασης έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του Φ/B στοιχείου. Το πηλίκο του εμβαδού αυτού προς το εμβαδόν του διαγράμματος τάσης - έντασης που θα περιέγραφε την ιδανική συμπεριφορά του Φ/B στοιχείου λέγεται παράγων πλήρωσης (fill factor) FF και οι τιμές του κυμαίνονται από το 0 μέχρι το 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα ο παράγων πλήρωσης, τόσο η λειτουργία του πλαισίου

προσεγγίζει την ιδανική συμπεριφορά. Τυπικές τιμές των πλαισίων στην αγορά κυμαίνονται από το 0,7 έως το 0,9.[Φραγκιαδάκης, 2007]

2.3 Επίδραση θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούνται από κρύσταλλα πυριτίου που αποτελούν ημιαγωγούς ευαίσθητους στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά αρνητικά στην λειτουργία των πλαισίων, σύμφωνα με τη σχέση: (διάγραμμα 2)

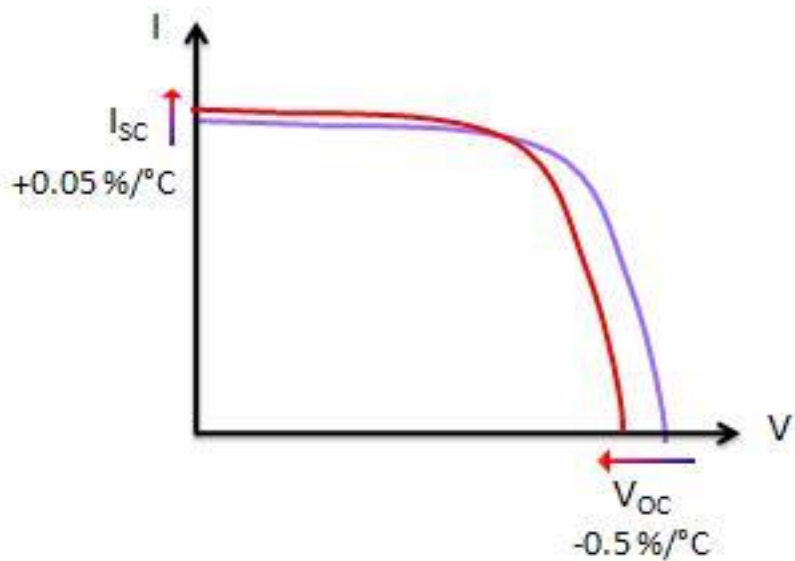
$$\eta_T = 1 + \gamma_{mp} * (\theta_c - \theta_{STC})$$

$$\gamma_{mp} = -0,0045 \text{ K}^{-1}$$

θ_c = η θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου

$$\theta_{STC} = 25^\circ \text{C}$$

[Φραγκιαδάκης, 2007]



Διάγραμμα 2 μεταβολή του διαγράμματος I-V με την αύξηση της θερμοκρασίας [National Instruments, 2014]

Αύξηση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό προκαλεί μικρή αύξηση της έντασης (0,05%) αλλά μεγάλη μείωση της τάσης(0,5%).

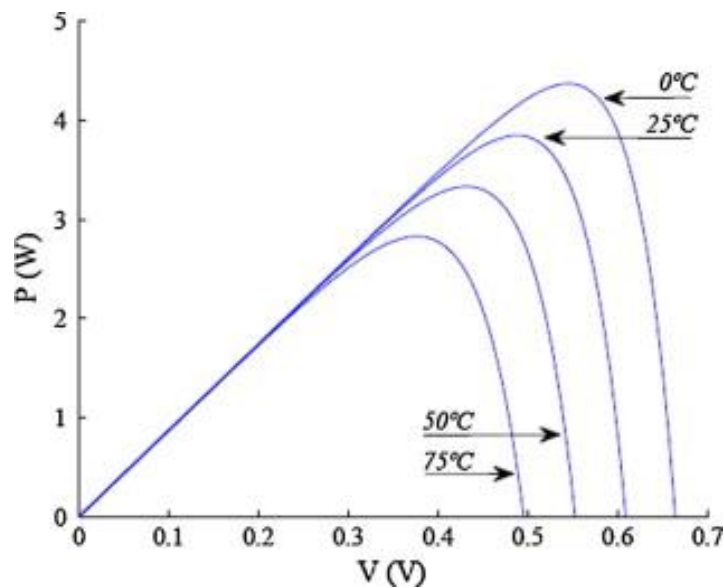
Η ισχύς P ισούται με:

$$P = V * I$$

V : η τάση του παραγόμενου ρεύματος

I : η ένταση του παραγόμενου ρεύματος

Παρακάτω παρουσιάζεται η μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας.(διάγραμμα 3



Διάγραμμα 3 γραφικές παραστάσεις P-V σε διάφορες θερμοκρασίες [National Instruments, 2014]

2.4 Υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ)

“Υλικά που αλλάζουν φάση μέσω της αποθήκευσης ενέργειας 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, 2007]

Πιο απλά, τα ΥΑΦ μπορούν να απορροφούν και να εκλύουν θερμότητα διατηρώντας σχεδόν μία σταθερή θερμοκρασία. Με βάση τα συστατικά τους κατηγοριοποιούνται σε παραφίνες, οργανικά υλικά, λιπαρά οξέα και ανόργανα υλικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

3.1 Σχέση θερμοκρασίας - απόδοσης Φ/Β πλαισίου

Έχει παρατηρηθεί, πως εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών σε κτήρια που υπάρχει χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, η μετατροπή ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται με την ύπαρξη αρκετών απωλειών. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί υπό κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία = 25°C). Όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια του στοιχείου ξεπεράσει αυτή την τιμή, η απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μειώνεται περίπου 0,5%*K⁻¹. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα είναι δυνατή η εισαγωγή των ΥΑΦ σε φωτοβολταϊκά. Το ΥΑΦ τοποθετημένο σε πλαίσιο προσαρμοσμένο στο πίσω μέρος του Φ/Β συστήματος, απορροφά την εξέχουσα θερμότητα διατηρώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε σταθερή θερμοκρασία προκειμένου να διασφαλιστεί η αποδοτική λειτουργία του. [Huang et al., 2006]

Ο Hasan έδειξε πως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C και ηλιακή ακτινοβολία ισχύος 1.000 Wm⁻² η θερμοκρασία των πλαισίων ανεβαίνει υπερβολικά, σε σημείο να προκαλείται μείωση της απόδοσης 0,4-0,65% ανά βαθμό K. Αν αναλογιστούμε πως η θερμοκρασία του πλαισίου μπορεί να αγγίξει τιμές έως και 70° C γίνεται φανερή η αναγκαιότητα εύρεσης βιώσιμης λύσης για τη ψύξη αυτών. [Hasan, 2010]

3.2 Εφαρμογές σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές

Οι Hasan et. al. πειραματίστηκαν χρησιμοποιώντας 5 διαφορετικά είδη υλικών αλλαγής φάσης σε 4 συστήματα Φ/Β-ΥΑΦ με σκοπό την διερεύνηση της σχέσης θερμοκρασίας και απόδοσης Φ/Β ενσωματωμένων σε κτήρια. Τα ΥΑΦ που επιλέχθηκαν είχαν θερμοκρασία τήξης 25 ± 4 °C και θερμοχωρητικότητα μεταξύ 140 - 213 kJ/kg.(πίνακας 2) Τα συστήματα Φ/Β-ΥΑΦ εκτέθηκαν σε τρεις ακτινοβολίες, διαφορετικής εντάσεως, με σκοπό να εκτιμηθεί η απόδοση του κάθε ΥΑΦ. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προαναφερθέντων συστημάτων υπολογίστηκε μεταβάλλοντας τόσο την μάζα των ΥΑΦ, όσο και τη θερμική αγωγιμότητα των συστημάτων.[Hasan et. al., 2010]

Πίνακας 1 Θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν [Hasan et al., 2007]

	ΥΑΦ				
	RT 20	C-L	C-P	CaCl ₂ ·6H ₂ O	SP22
Σημείο έναρξης τήξης (°C)	21.23	20.78	22.33	29.17	22.97
Σημείο λήξης τήξης (°C)	25.73	24.66	26.4	29.66	24.6
Θερμότητα σύντηξης (kJ/kg)	140.3	171.98	196.07	213.12	182
Θερμική αγωγιμότητα (W/m K)	0.2	0.139	0.143	1.09	0.6
Πυκνότητα στερεού (kg/L)	0.88	0.88	0.883	1.71	1.49
Πυκνότητα υγρού (kg/L)	0.77	0.863	0.84	-	1.43
Ογκομετρική επέκταση (L/kg %)	14	2.3	4.8	αμελητέα	4

Για τη συγκεκριμένη έρευνα κατασκευάστηκαν 4 ορθογώνια δοχεία (πίνακας 2) στο άνω μέρος των οποίων τοποθετήθηκαν Φ/Β στοιχεία διαστάσεων 10cmx 10cm x 0,05cm. Τα 2 δοχεία ήταν φτιαγμένα από υψηλής θερμικής αγωγιμότητας αλουμίνιο (237 W/m*K) επιτρέποντας την ταχεία μεταφορά θερμότητας από το Φ/Β στο ΥΑΦ. Ωστόσο, κατάφεραν μικρότερη διατήρηση της θερμότητας προς το περιβάλλον κυρίως εξαιτίας απωλειών. Τα άλλα 2 δοχεία ήταν φτιαγμένα από γυαλί perspex και είχαν πολύ χαμηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας (0,189 W/m*K) καθιστώντας έτσι τη μεταφορά θερμότητας από το Φ/Β στο υλικό ιδιαίτερος χρονοβόρα.[Hasan et al., 2010]

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά των δοχείων που κατασκευάστηκαν για τη μελέτη [Hasan et al., 2007]

	ΦΒ / ΥΑΦ			
	A	B	C	D
Υλικό δοχείου	Αλουμίνιο	Perspex	Αλουμίνιο	Persex
Θερμική αγωγιμότητα υλικού (W/m*K)	237	0.189	237	0.189
Πλάτος δοχείου εσωτερικά (cm)	5	5	3	3
Εξωτερικό τοίχωμα (mm)	5	10	5	10

Αφού τα δοχεία γεμίστηκαν με κάθε ένα από τα επιλεγθέντα ΥΑΦ, τα παραπάνω συστήματα εκτέθηκαν σε προσομοιωτή εργαστηρίου ποικίλων τιμών ακτινοβολίας ξεκινώντας από χαμηλές (500 W/m^2), έπειτα μέσες (750 W/m^2) και φτάνοντας υψηλές (1.000 W/m^2). Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερή στους $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Τα αποτελέσματα υποδείκνυαν πως η απόδοση των ΥΑΦ βρίσκεται σε συνάρτηση με τη μάζα και τη θερμική αγωγιμότητα τους. Συγκρίνοντας τα, προέκυψε πως το ένυδρο άλας CaCl_2 σημείωσε μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας στις περισσότερες τιμές έντασης ακτινοβολίας. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν από 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 1.000 W/m^2 στο σύστημα A. [Hasan et al., 2010]

Παρόμοια προσομοίωση του συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ έχει γίνει από τους Ciulla et al. και είχε ως στόχο την αξιολόγηση ψύξης των Φ/Β συστημάτων με τη χρήση ΥΑΦ. Έτσι υπήρξε η δημιουργία μαθηματικού μοντέλου που περιέγραφε τη συμπεριφορά ενός συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ και μιας πειραματικής διάταξης Φ/Β-ΥΑΦ για να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Για το πείραμα κατασκευάστηκε διάταξη που αποτελείτο από Φ/Β πλαίσιο πυριτίου ενισχυμένο με ΥΑΦ κι ένα ίδιο πλαίσιο πυριτίου που χρησιμοποιήθηκε ως Φ/Β αναφοράς. Τα χαρακτηριστικά του υλικού παρατίθενται παρακάτω (πίνακας 3). Το ΥΑΦ τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του Φ/Β.

Πίνακας 3 Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου ΥΑΦ [Ciulla et. al., 2012]

Θερμοκρασία αλλαγής φάσης ($^\circ\text{C}$)	26-28
Πυκνότητα στερεού (kg/L)	0,87
Πυκνότητα υγρού (kg/L)	0,75
Θερμοχωρητικότητα (kJ/kg)	179
Ενθαλπία ΥΑΦ ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)	1,8-2,4
Ογκομετρική αλλαγή (%)	10

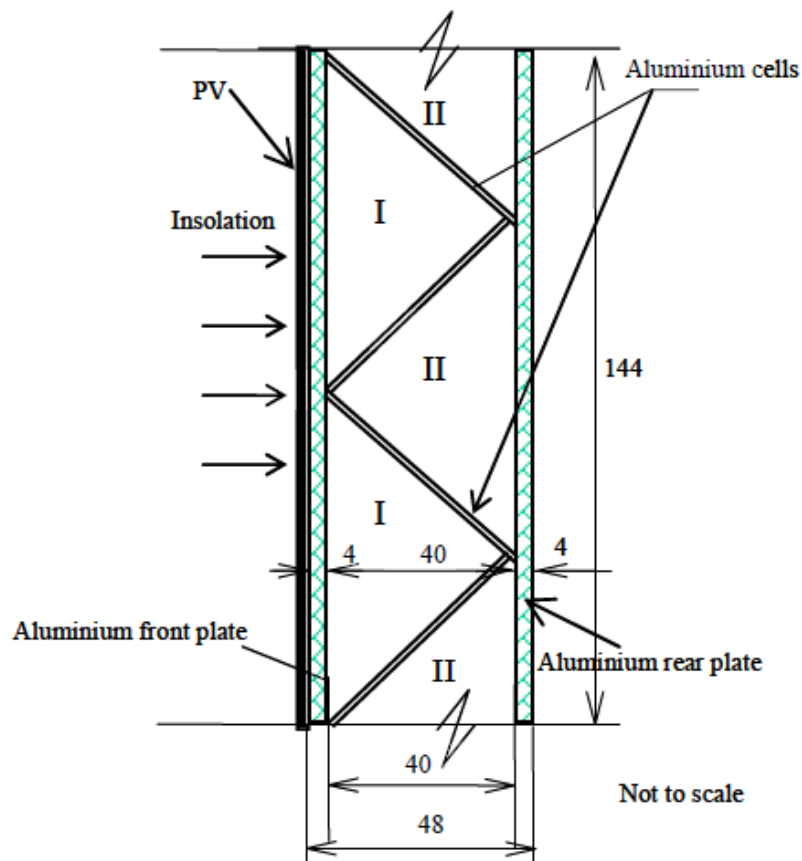
Τα αποτελέσματα υποδείκνυαν πως υπήρχε μεγάλη συμφωνία μεταξύ των τιμών των οποίων μπορεί να προβλέψει το μοντέλο και των πραγματικών μετρήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας και μια μεγαλύτερη απόκλιση κατά τη διάρκεια της νύκτας η οποία πιθανότατα οφείλεται σε εσφαλμένη εκτίμηση της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα 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. Άρα, το μοντέλο είναι έγκυρο και δύναται να χρησιμοποιηθεί επωφελώς για τον προσδιορισμό της θερμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος Φ/Β-ΥΑΦ.[Ciulla et al., 2012]

Οι Hendricks et al. εκτέλεσαν έρευνα με τη χρήση πειραματικής διάταξης που περιελάμβανε δοχείο με ΥΑΦ στην πλάτη ενός πλαισίου, σε δύο περιοχές με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες (Ουτρέχτη - Μάλαγα). Σκοπός της, η μελέτη πιθανού ενεργειακού και οικονομικού οφέλους ενός τέτοιου συστήματος. Τα αποτελέσματα του έδειξαν πως σε ένα χρόνο το ενεργειακό όφελος άγγιζε 1,7% στη Μάλαγα ενώ στην Ουτρέχτη ήταν αμελητέο. Οικονομική απόσβεση δεν υφίστατο, τουλάχιστον για το περιθώριο 20ετίας που είναι ο χρόνος ζωής των Φ/Β στοιχείων, με συμπέρασμα η λύση να μην θεωρείται οικονομικά βιώσιμη. Βέβαια, το θεωρητικό μοντέλο που προέκυψε υποδείκνυε πως αν η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών παραμείνει στα επίπεδα που προτείνει ο κατασκευαστής, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης των ενεργειακών αποδοχών κατά 72%.[Hendricks et al., 2011]

3.3 Εφαρμογή με δύο ΥΑΦ

Οι Huang και Hewitt μελέτησαν τρόπους για τη βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ ώστε να επιτευχθεί ρύθμιση της θερμοκρασίας Φ/Β συστημάτων ενσωματωμένα σε κτήρια. Για την πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο Φ/Β – ΥΑΦ στο οποίο ενσωματώθηκαν δύο τύποι ΥΑΦ. Διεξήχθησαν μια σειρά αριθμητικών προσομοιώσεων για πραγματικές συνθήκες. Το σύστημα Φ/Β – ΥΑΦ σχεδιάστηκε με μικρά κελιά από μέταλλο ώστε να μπορεί να γίνει εισαγωγή δύο διαφορετικών ΥΑΦ προκειμένου να βελτιωθεί η μετάδοση θερμότητας. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ έδωσαν τη δυνατότητα διατήρησης μιας χαμηλότερης θερμοκρασίας στο Φ/Β για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Τα ΥΑΦ που διερευνήθηκαν ήταν τα RT21, RT27, RT31 και RT60 της εταιρίας Rubitherm. (εικόνα 1, πίνακας 4)

Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης με μεταλλικά κελιά [Huang και Hewitt, 2011]



Πίνακας 4 Θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών [Anon, 2009]

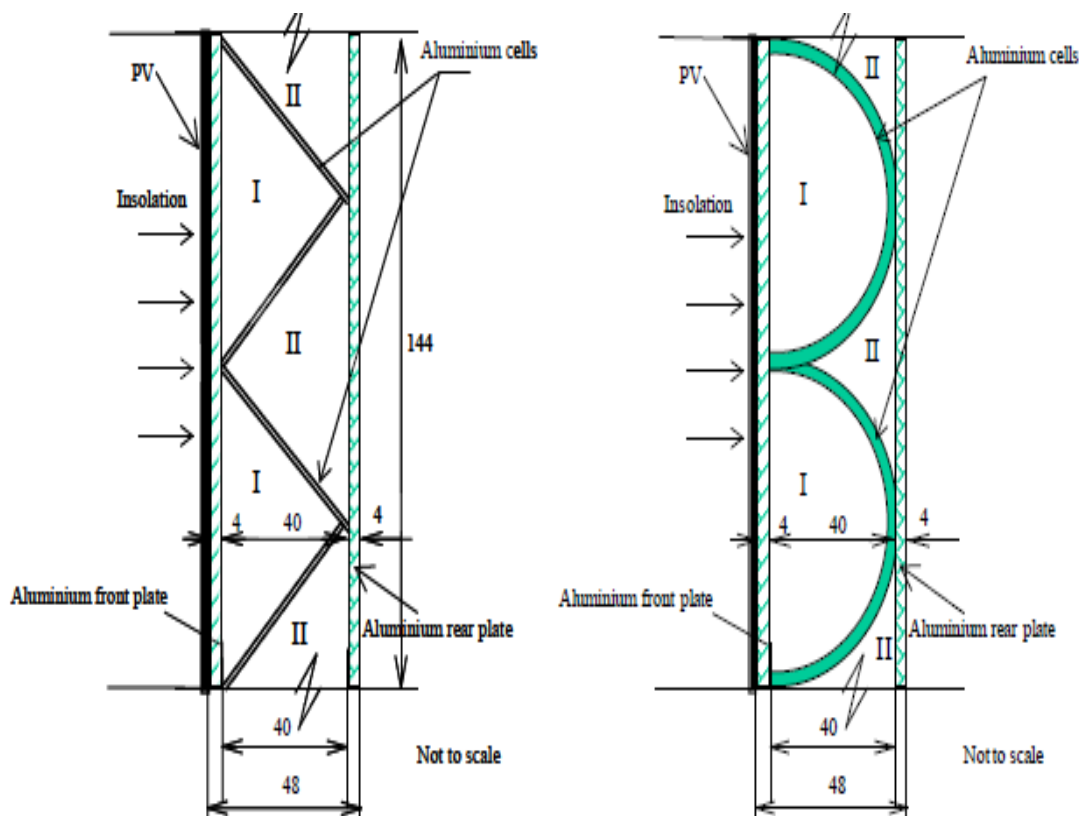
	RT21	RT27	RT31	RT60
Θερμοκρασία τήξης (°C)	21	27	29	60
Λανθάνουσα θερμότητα (kJ/kg)	134	184	169	144
Πυκνότητα υγρού (kg/L)	0.76	0.75	0.77	0.78
Πυκνότητα στερεού (kg/L)	0.84	0.84	0.89	0.95
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)	0.2	0.2	0.2	0.2
Ιξώδες (mm ² /s)	25.71	26.32	28.57	37.05

Αποδείχθηκε πως ο συνδυασμός υλικών με τις μικρότερες θερμοκρασίες τήξης (21° C και 27° C) ήταν εκείνος που 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 Huang σύγκρινε θεωρητικά τη 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 2)

Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση των διατάξεων που προσομοιώθηκαν [Huang, 2011]



Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως δεν υφίσταται διαφορά ανάμεσα στη θερμική ρύθμιση του ΥΑΦ είτε αναφερόμαστε σε ημικυκλική διάταξη είτε σε τριγωνική. [Huang, 2011]

3.5 Μοντελοποίηση

Οι Pascal et al. προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν την μεταφορά θερμότητας και μάζας σε σύστημα που αποτελείτο από το ΥΑΦ τοποθετημένο στο πίσω μέρος ενός ηλιακού πλαισίου. Το υλικό αλλαγής φάσης ήταν το RT25. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως προσθήκη ενός PCM στο πίσω μέρος ενός ηλιακού πλαισίου μπορεί να διατηρήσει τη θερμοκρασία λειτουργίας του κάτω από 40°C για 80 λεπτά υπό σταθερή ηλιακή ακτινοβολία 1.000W / m. [Pascal et al., 2013]

3.6 Συστήματα ψύξης

Οι Huang et al. μελέτησαν το ποσοστό που αποδίδει, όσον αφορά τη ψύξη, η κίνηση του αέρα στο πίσω μέρος του πλαισίου. Η θερμοκρασία έμενε στα επιθυμητά επίπεδα μόνο σε ευνοϊκές συνθήκες, δηλαδή 23°C και ηλιακή ακτινοβολία 400Wm⁻². Αξίζει να σημειωθεί πως η πλειοψηφία των φωτοβολταϊκών στο παγκόσμιο βεληνεκές βρίσκεται σε πιο θερμά κλίματα και δέχεται μεγαλύτερη ισχύ ακτινοβολίας. Με βάση αυτά τα δεδομένα δίνεται πάτημα για έρευνα εύρεσης ενεργητικής ψύξης. Έρευνες που έχουν γίνει πάνω στη χρήση ατμοσφαιρικού αέρα και νερού προκειμένου να επιτευχθεί ψύξη των πλαισίων αντιμετώπισαν προβλήματα που αφορούν την κατασπατάληση νερού και την αποθήκευση του ψυκτικού μέσου σε χαμηλή θερμοκρασία. [Huang et al., 2011]

Μία άλλη εφαρμογή ψύξης Φ/Β με αέρα έγινε από τους Τρυπαναγνωστόπουλο κ.α. και αφορά την βελτιστοποίηση υβριδικών Φ/Β-Thermal συστημάτων τα οποία με την προσαρμογή τους στην πρόσοψη ενός κτηρίου μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα αλλά παράλληλα να παρέχουν θερμότητα στον εσωτερικό χώρο. Κατασκευάστηκαν μοντέλα που άλλαζαν τον τρόπο με τον οποίο διερχόταν ο αέρας μέσα από αυτά. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδείκνυαν πως η τοποθέτηση φύλου αλουμινίου κατά μήκος του αγωγού αέρα βελτιώνει την απόδοση του Φ/Β συστήματος και μάλιστα με πολύ χαμηλό κόστος. [Τρυπαναγνωστόπουλος κ.α., 2001]

Οι Σαββάκης και Τσούτσος μελέτησαν την επίδραση που θα είχε θερμοκρασιακά αλλά και όσον αφορά την απόδοση, εφαρμογή ΥΑΦ ως σύστημα παθητικής ψύξης σε Φ/Β πλαίσιο, υπό το Μεσογειακό κλίμα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως το Φ/Β πλαίσιο με το ΥΑΦ ήταν ψυχρότερο από το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς κατά 11° C μέσο όρο και είχε βελτίωση απόδοσης κατά 8,6%. [Savvakis, Tsoutsos, 2016]

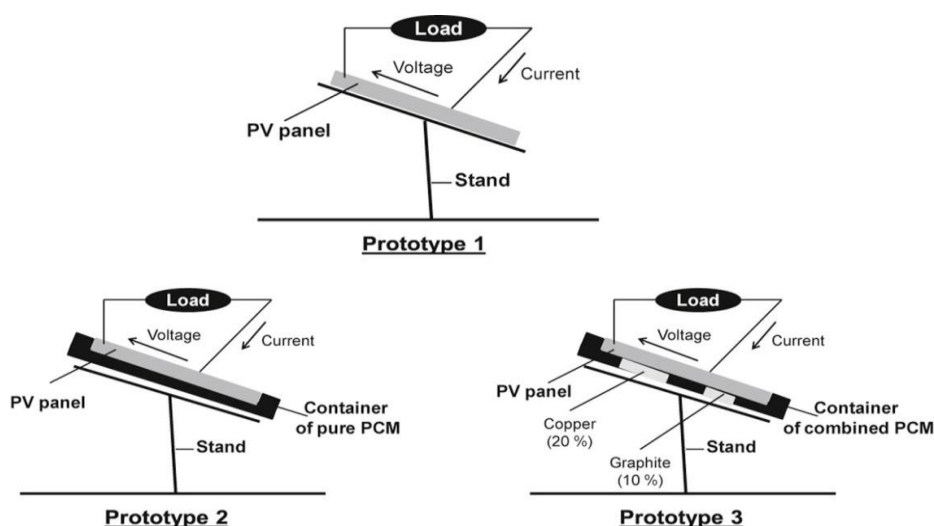
Οι Machniewicz et al. μελέτησαν το κατά πόσο υπάρχει η δυνατότητα σταθεροποίησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας Φ/Β πλαισίου. Στόχος της έρευνας αποτέλεσε ο προσδιορισμός της μεταφοράς θερμοκρασίας από το ΥΑΦ στο Φ/Β πλαίσιο και ταυτόχρονα η προσπάθεια να αποφυγής των απότομων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας στο Φ/Β σύστημα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως ένα στρώμα με ΥΑΦ στο πίσω μέρος ενός Φ/Β πλαισίου μπορεί να αυξήσει την απόδοση του μέχρι και 10%. [Machniewicz et al., 2015]

Οι Moharram et al. πρότειναν η ψύξη των πλαισίων να επιτυγχάνεται μέσω σταγονιδίων νερού στην άνω επιφάνεια των φωτοβολταϊκών τις ώρες που η θερμοκρασία φτάνει πάνω από τους 40° C. Έτσι, το πρόβλημα της σπατάλης νερού λύνεται αφού γίνεται χρήση μικρής ποσότητας και παράλληλα καθαρίζεται η άνω επιφάνεια του Φ/Β, συνεπώς παύει να υφίσταται μείωση της ισχύος εισόδου. [Moharram et al., 2013]

Οι Hachem et al. έκαναν χρήση ΥΑΦ σαν σύστημα ψύξης σε Φ/Β πλαίσια και ερεύνησαν την επίδραση τους στη θερμική και ηλεκτρική του συμπεριφορά. Έγινε χρήση τριών Φ/Β πλαισίων. Το πρώτο είχε προσαρμοσμένη δεξαμενή πληρωμένη

με ένα μόνο ΥΑΦ ενώ το δεύτερο είχε προσαρμοσμένη δεξαμενή με μίγμα ΥΑΦ (πίνακας 5). Το τρίτο πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε ως πλαίσιο αναφοράς. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι κατά μέσο όρο υπήρξε αύξηση της αποδοτικότητας του πλαισίου με τη δεξαμενή πληρωμένη με ένα μόνο ΥΑΦ κατά 3%, ενώ το πλαίσιο με τη δεξαμενή ψύξης πληρωμένη με μίγμα ΥΑΦ παρουσίαζε βελτίωση της απόδοσης του κατά 5.8% μέσο όρο. [Hachem et al., 2017]

Εικόνα 3 τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη [Hachem et al., 2017]



Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη [Hachem et al.,2017]

	Καθαρό ΥΑΦ	Μείγμα ΥΑΦ
Θερμική αγωγιμότητα (W/m K)	0.18	92.1
Πυκνότητα (kg/m ³)	900	957
Θερμοκρασία τήξης (°C)	36-60	36-60

Οι Lipprong et al. μελέτησαν την επίδραση του PCMR27 στην ηλεκτρική και θερμική απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου, όταν αυτό χρησιμοποιούνταν ως σύστημα παθητικής ψύξης και σύγκριναν τα αποτελέσματά τους με πλαίσιο αναφοράς. Για να γίνει ταχύτερα η μεταφορά θερμότητας από το πλαίσιο στο ΥΑΦ έγινε χρήση ενσωματωμένων στη δεξαμενή πτερυγίων από μέταλλο, η οποία είχε πληρωθεί με ΥΑΦ και είχε προσαρμοστεί πίσω από το πλαίσιο. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως η μέγιστη βελτίωση στην ηλεκτρική απόδοση του πλαισίου ήταν 5,39%, ενώ θερμικά, το σύστημα ψύξης με ΥΑΦ παρουσίασε διαφορά στη θερμοκρασία του μέχρι και 15°C συγκριτικά με το πλαίσιο αναφοράς. [Lipprong et al., 2017]

Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται μια συμπυκνόμενη αναφορά ερευνών που απασχολήθηκαν με το ζήτημα εφαρμογής ΥΑΦ σε Φ/Β πλαίσια και την επίδραση τους στη συμπεριφορά τους.

Πίνακας 6 Έρευνες εφαρμογής ΥΑΦ σε Φ/Β πλαίσια [Hasan et al.,2017]

έρευνα	ΥΑΦ	Χρονική περίοδος	αποτελέσματα
Hasan et al. (2015)	Ένυδρο άλας, λιπαρά οξέα	14–16 d	Η μέση ημερήσια εξοικονόμηση ενέργειας βρέθηκε να είναι 7,7% σε ζεστό κλίμα
Hassan et al. (2014)	Παραφίνη, ένυδρο άλας λιπαρά οξέα	12 h	Η μέγιστη πτώση της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας PCM ήταν 5 ° C σε μια συνεφιασμένη μέρα και 11 ° C σε συνθήκες καθαρού ουρανού
Hasan et al. (2014b)	Λιπαρά οξέα, ένυδρο άλας	14–16 d	Το σύστημα είναι οικονομικά αποδοτικό μόνο σε θερμότερα κλίματα
Aelenei et al. (2014)	–	2 d	Η βελτίωση στην ηλεκτρική απόδοση του Φ/Β μπορεί να φθάσει το 10% και η θερμική το 12%
Biwole et al. (2013)	Παραφίνη SP/PCM		Διαπιστώθηκε χρονική υστέρηση 1 ώρας που έφθασε τους 34,9 ° C ενώ το Φ/Β με ΥΑΦ πάντα διατηρούσε τη θερμοκρασία του πλαισίου κάτω από τους 50 ° C
Hendricks and Sark (2013)		1 yr	Το ενεργειακό όφελος από το Φ/Β σύστημα με ψύξη ήταν 3,3 kWh σε ζεστό και 1,8 kWh σε κρύο κλίμα
Huang (2011)	Συνδυασμοί παραφινών	3 d	Ο συνδυασμός RT27 και RT21 επιτυγχάνει τη μέγιστη μείωση θερμοκρασίας κατά την καθημερινή λειτουργία
Sharma et al. (2016)	Παραφίνη	160 min	Η βελτίωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος στα 1.000 W / m ² ήταν 4,4% με μείωση της θερμοκρασίας της μονάδας κατά 3,8 ° C
Sarwar (2012)	Λαυρικό οξύ Παλμιτικό οξύ		Λαυρικό οξύ και παλμιτικό οξύ να ρίχνουν τη θερμοκρασία της μονάδας κατά 22 ° C και 19,5 ° C αντίστοιχα
Maiti et al. (2011)	Παραφίνη με ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια	7 h	Το σύστημα PV-PCM με ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια διατηρούν τη θερμοκρασία γύρω στους 65-68 ° C για 3 ώρες σε σύγκριση με την παραφίνη που έφτασε τους 84 ° C σε λιγότερο από 50 λεπτά

έρευνα	ΥΑΦ	Χρονική περίοδος	αποτελέσματα
Lillo et al. (2011)	ΥΑΦ με διαφορετικά σημεία τήξης	–	Το σύστημα CPV-PCM αποφέρει 37,2% περισσότερη ισχύ από το σύστημα CPV μόνο σε ζεστό κλίμα και 18% σε κρύο κλίμα
Wu (2009)	Παραφίνη	–	Μια πτώση θερμοκρασίας 18 ° C με 10% αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης επιτυγχάνεται με το σύστημα CPV-PCM σε υψηλή ένταση 672 W / m ²

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του παρόντος πειράματος ήταν η μελέτη επίδρασης των ΥΑΦ ως σύστημα παθητικής ψύξης σε Φ/Β πλαίσια και η σχέση τους με τη βελτίωση της απόδοσης τους. Πιο συγκεκριμένα, η υλοποίηση της παρούσας εργασίας εξελίχθηκε σε 2 φάσεις διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων.

Στην πρώτη φάση, πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με σύστημα παθητικής ψύξης και ενός συμβατικού πλαισίου. Το σύστημα ψύξης αποτέλεσε μια ειδική διάταξη πληρωμένη με ΥΑΦ η οποία εφαρμόζεται στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Στο δεύτερο μέρος του πειράματος, πραγματοποιήθηκε σειρά πειραματικών μετρήσεων για να καταστεί εφικτή η σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης τεσσάρων (4) φωτοβολταϊκών πλαισίων σε καθένα εκ των οποίων είχε τοποθετηθεί διάταξη ψύξης και ΥΑΦ με διαφορετικά χαρακτηριστικά ενώ ένα Φ/Β χρησιμοποιήθηκε ως αναφοράς.

4.2 Επιλογή των μέσων που χρησιμοποιήθηκαν

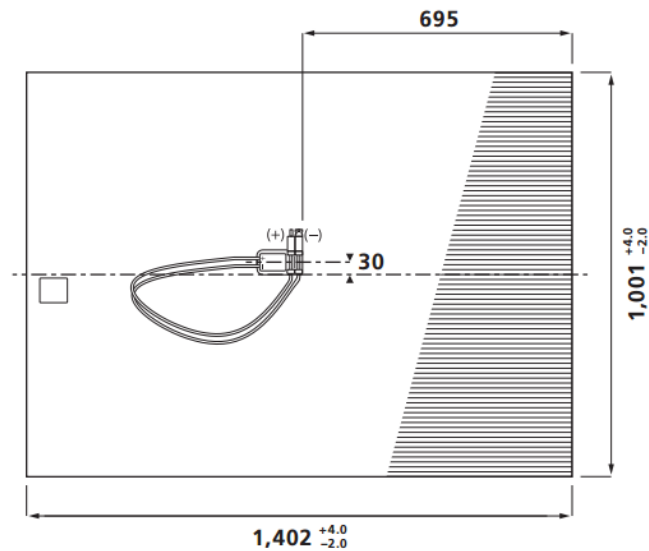
4.2.1 Φ/Β πλαίσια

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη φάση του πειράματος, κατασκευάστηκε από την εταιρία Sharp και είναι το μοντέλο NA-E130L5. Πρόκειται για πλαίσιο άμορφου πυριτίου (thin film) με ονομαστική απόδοση 9,3%. Στο πίνακα 7 παρουσιάζονται αναλυτικά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εν λόγω πλαισίου σε συνθήκες STC (standard test conditions). Στην εικόνα 4 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου.

Πίνακας 7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά NA-E130L5 σε STC[Sharp, 2013]

Μέγιστη ισχύς (W)	P _{max}	130
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V)	V _{oc}	60.4
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (A)	I _{sc}	3.41
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (V)	V _{mpp}	46.1
Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (A)	I _{mpp}	2.82
Απόδοση (%)	η _m	9.3
Συντελεστής θερμοκρασίας (W)	P _{max}	-0.24% / °C
Συντελεστής θερμοκρασίας (V)	V _{oc}	-0.30 % / °C
Συντελεστής θερμοκρασίας(A)	I _{sc}	0.07 % / °C

Εικόνα 4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλαισίου NA-E130L5 [Sharp, 2013]

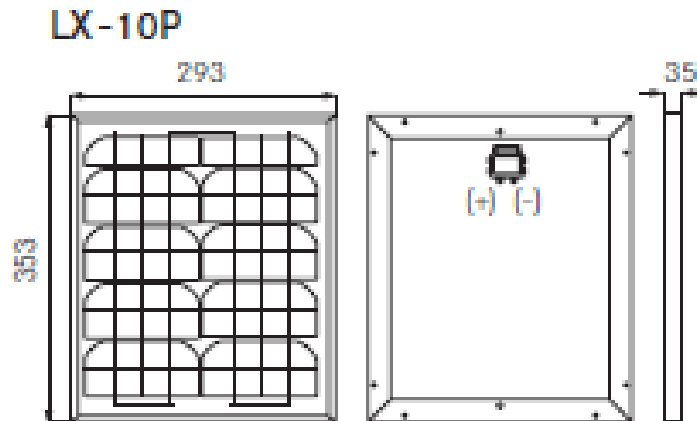


Τα Φ/Β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στην 2^η φάση του πειράματος έχουν κατασκευαστεί από την εταιρία luxor και ανήκουν στη σειρά SOLOLINE 36/10 – 160 W. Το μοντέλο ήταν το LX -10P. Οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στην εικόνα 5 ενώ τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων σε STC στον πίνακα 8.

Πίνακας 8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά LX – 10P σε STC [luxor-solar, 2016]

Ονομαστική ισχύς (W)	P _{mpp}	10
Τάση ανοιχτού κυλώματος (V)	V _{oc}	21.60
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (A)	I _{sc}	0.64
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (V)	V _{mpp}	17.39
Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (A)	I _{mpp}	0.58
Μέγιστη τάση (V)	V	150
Συντελεστής θερμοκρασίας (W)	P	-0.49% / °C
Συντελεστής θερμοκρασίας (A)	I	0.05% / °C
Συντελεστής θερμοκρασίας(V)	V	-0.35% / °C

Εικόνα 5 διαστάσεις μικρών Φ/Β πλαισίων [luxor-solar, 2016]



4.2.2 Υλικά αλλαγής φάσης

Το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο φάσεις των πειραματικών μετρήσεων είναι το PCMRT 27 της εταιρίας Rubitherm, που ειδικεύεται στην παραγωγή ΥΑΦ για διάφορες χρήσεις. Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του εν λόγω ΥΑΦ.

Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά PCMRT27/ PCMRT31/PCMRT35 [Rubitherm, 2012]

	PCMRT 27	PCMRT 31	PCMRT 35
Σημείο τήξης (°C)	25-28 κυρίως 27	27-33 κυρίως 31	34-36 κυρίως 35
Σημείο πήξης (°C)	28-25 κυρίως 27	33-27 κυρίως 31	36-34 κυρίως 35
Θερμοχωρητικότητα $\pm 7.5\%$ (kJ/kg)	179	165	240
Ειδική θερμοχωρητικότητα (kJ/kg*K)	2	2	2
Πυκνότητα στερεού (kg/L)	0.88 (at 15 °C)	0.88 (at 15 °C)	0.88 (at 25 °C)
Πυκνότητα υγρού (kg/L)	0.76 (at 40 °C)	0.76 (at 45 °C)	0.77 (at 40 °C)
Θερμική αγωγιμότητα (W/(m*K))	0.2	0.2	0.2
Αύξηση όγκου(%)	12.5	12.5	12
Σημείο ανάφλεξης(°C)	146	157	177

4.2.3 Λογισμικό

Για τη λήψη αποτελεσμάτων υπό την επιθυμητή μορφή έγινε χρήση του προγράμματος Realterm και προκειμένου να σχεδιαστούν τα ζητούμενα διαγράμματα έγινε χρήση του προγράμματος excel της Microsoft.

4.2.4 Συσκευή μεταβλητών αντιστάσεων

Με τις πολλαπλές μεταβολές της αντίστασης σε μικρό χρονικό διάστημα λαμβανόντουσαν πολλαπλές μετρήσεις του ζευγών τάσης και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος προκειμένου να κατασκευαστούν οι σχετικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας. Το φορτίο (I-Vtracer- εικόνα 6) κατασκευάστηκε στο πλαίσιο ερευνητικών δραστηριοτήτων του εργαστήριου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, συνδεόταν άμεσα με το εκάστοτε Φ/Β σύστημα και μέσω του προαναφερθέντος λογισμικού (RealTerm) παίρναμε τα απαιτούμενα δεδομένα τάσης και έντασης.

Εικόνα 6 Διάταξη I-V tracer



4.2.5 Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων ήταν τεχνολογίας CMP3, προσαρμοσμένο στο άνω μέρος του ενός Φ/Β πλαισίου έχοντας την ίδια κλίση και προσανατολισμό με αυτό προκειμένου να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση των πιθανών σφαλμάτων.

Εικόνα 7 Πυρανόμετρο CMP3



4.2.6 Ψηφιακό θερμόμετρο

Εικόνα 8 Ψηφιακό θερμόμετρο HH309A[omega,2016]



Το ψηφιακό θερμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του πειράματος είναι κατασκευασμένο από την εταιρία omegea και συγκεκριμένα το μοντέλο HH309A με ακρίβεια $\pm 0.2\% \text{ rdg} + 1^\circ\text{C}$. Ήταν συνδεδεμένο με 4 θερμοζεύγη και παρείχε τις απαραίτητες πληροφορίες για τη θερμοκρασιακή κατάσταση των πλαισίων κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων.

4.2.7 Θερμοκάμερα

Εικόνα 9 Η θερμοκάμερα IRYSIS 4000 [Irysis, 2016]



Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για τη λήψη των θερμικών απεικονίσεων είναι κατασκευασμένη από την εταιρία IRYSIS και πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο της σειράς 4000.

4.3 Απόδοση Φ/Β πλαισίου

Η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στην ηλεκτροπαραγωγή μετρείται με την αποδοτικότητα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου (η), που ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να προσφέρει το στοιχείο προς την προσπίπτουσα φωτεινή ηλιακή ισχύ:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{P_{in}}$$

P_{out}: η παραγόμενη ισχύς από το Φ/Β στοιχείο

P_{in}: η προσφερόμενη ισχύς από τον ήλιο

Ακόμη, ισχύει ότι:

$$P_{in} = E \cdot S$$

Όπου,

S: Εμβαδόν πλαισίου

E: η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου

Η στιγμιαία απόδοση ενός Φ/Β εξαρτάται από:

- τις φυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής του
- την θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών
- την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

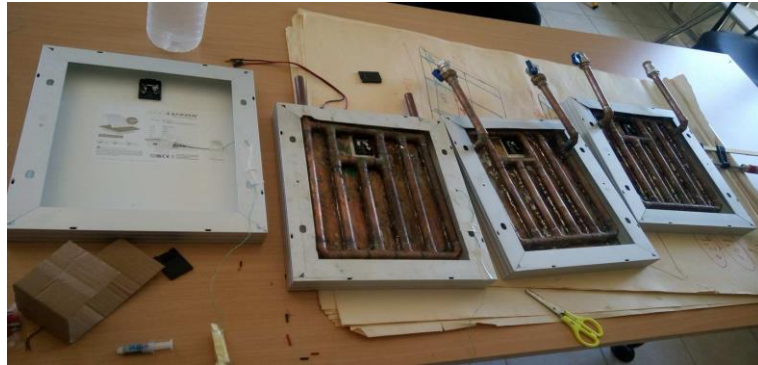
[Φραγκιαδάκης, 2007]

4.4 Πειραματική διάταξη

Εικόνα 10 Το Φ/Β σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στη πρώτη φάση του πειράματος



Εικόνα 11 Τα Φ/Β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στη 2η φάση του πειράματος



4.5 Διάγραμμα ροής

Εικόνα 12 Διάγραμμα ροής πειράματος

Θερμοκάμερα IRYSYS 4000



πυρανόμετρο



pn pcm - pn



Ηλεκτρονικό θερμόμετρο



IVtracer



Επεξεργασία δεδομένων

4.6 Περιγραφή του πειράματος

Το πείραμα χωριζόταν σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε μελέτη απόδοσης 2 φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδίου τύπου και μοντέλου(κατασκευαστής Sharp - μοντέλο NA-E130L5), με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°. Στο ένα εκ των δυο, υπήρχε εγκατεστημένο μεταλλικό πλαίσιο πληρωμένο με ΥΑΦ (PCMRT27) στην πίσω πλευρά του, το οποίο λειτουργούσε ως σύστημα παθητικής ψύξης, με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του πλαισίου σε σταθερό σημείο (27 °C).

Ο έλεγχος απόδοσης πραγματοποιούνταν ως εξής: κάθε Φ/Β σύστημα συνδεόταν με ηλεκτρονική συσκευή I-Vtracer και μέσω του λογισμικού Realterm που μας έδινε πολλαπλά ζεύγη μετρήσεων, τάσης κι έντασης ρεύματος, για κάθε Φ/Β ξεχωριστά, ανά 10 λεπτά. Έπειτα, προκύπταν δύο αρχεία της μορφής text που περιλάμβαναν ζεύγη τιμών τάσης κι έντασης για κάθε Φ/Β πλαίσιο. Μέσω των ληφθέντων δεδομένων κατασκευάζονταν τα διαγράμματα έντασης- τάσης(I-V) και ισχύς-τάσης (P-V) για κάθε πλαίσιο.

Παράλληλα πραγματοποιούνταν έλεγχος της θερμοκρασίας των πλαισίων μέσω ηλεκτρονικού θερμόμετρου που συνδεόταν στο πίσω μέρος κάθε πλαισίου σε 2 σημεία και λάμβανε δεδομένα ανά 10 λεπτά προκειμένου χρονικά να συμπίπτει με τη λήψη των δεδομένων της τάσης-έντασης των πλαισίων. Επιπλέον, υπήρχε εγκατεστημένο πυρανόμετρο που συνδεόταν με βολτόμετρο του οποίου η ένδειξη ελεγχόταν κάθε φορά που λαμβανόταν μέτρηση. Σε περίπτωση διαφοροποίησης ακτινοβολίας της τάξεως των 0,2mV μεταξύ των μετρήσεων της ίδιας ώρας (το βολτόμετρο ήταν προγραμματισμένο να δουλεύει στην ένδειξη των 200mV) η μέτρηση θεωρούνταν άκυρη και δεν περιλαμβανόταν στο διάγραμμα που προέκυπτε. Επίσης, ανά μία ώρα γινόταν λήψη φωτογραφίας μέσω θερμοκάμερας.

Στο τέλος κάθε ημέρας κατασκευαζόταν επιπλέον τα διαγράμματα μέγιστης ισχύος σε σχέση με το χρόνο ($P_{max}-t$) και θερμοκρασίας και ακτινοβολίας [$ht=(ένδειξη\ βολτόμετρου/14,24)*1.000$] συναρτήσεως του χρόνου. Οι ώρες μετρήσεων συνήθως ξεκινούσαν στις 9 το πρωί και τελειώνανε στις 16.00 με εξαίρεση κάποιες μικρές διαφοροποιήσεις. Οι μέρες μετρήσεων για την πρώτη φάση του πειράματος ήταν 43, ξεκινώντας από τις 16 Φλεβάρη μέχρι τις 1 του Ιουνίου, καθώς τις μέρες που ο καιρός δεν ήταν ευνοϊκός δεν μπορούσαν να ληφθούν μετρήσεις.

Στη δεύτερη φάση του πειράματος έγινε μελέτη απόδοσης τεσσάρων (4)Φ/Β συστημάτων, εκ των οποίων τα 3 είχαν στο πίσω μέρος τους εγκατεστημένο μηχανισμό παθητικής ψύξης πληρωμένο με διαφορετικό ΥΑΦ. Ένα εκ των τεσσάρων πλαισίων χρησιμοποιήθηκε ως αναφοράς. Τα ΥΑΦ της δεύτερης φάσης του πειράματος ήταν τα PCMRT31, PCMRT27, PCMRT35. Παράλληλα πραγματοποιούνταν έλεγχος της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, ενώ στο τέλος προέκυπταν παρεμφερή διαγράμματα όπως και στην πρώτη φάση του πειράματος.

Τα μικρά Φ/Β τοποθετούνταν σε χειροποίητη βάση με νότιο προσανατολισμό, όπως και στην πρώτη φάση του πειράματος. Η κλίση ελεγχόταν με γωνιόμετρο και προσέγγιζε τις 30°. Η δεύτερη φάση ήταν διάρκειας 5 ημερών,

από τις 9 μέχρι τις 13 Ιουλίου, οι ώρες των μετρήσεων ξεκινούσαν στις 9.20 μέχρι τις 14.00.

Τα καιρικά δεδομένα που παρατίθενται στην παρούσα διπλωματική εργασία ελήφθησαν από το μετεωρολογικό σταθμό του πολυτεχνείου Κρήτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Αποτελέσματα 1^{ης} Φάσης πειράματος

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πειραματικών μετρήσεων προέκυψε ένας σημαντικός όγκος αποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται ένας επιλεγμένος αριθμός αποτελεσμάτων οι όποιοι κρίθηκε επαρκής για να παρέχει επαρκείς πληροφορίες για απόδοση του συστήματος

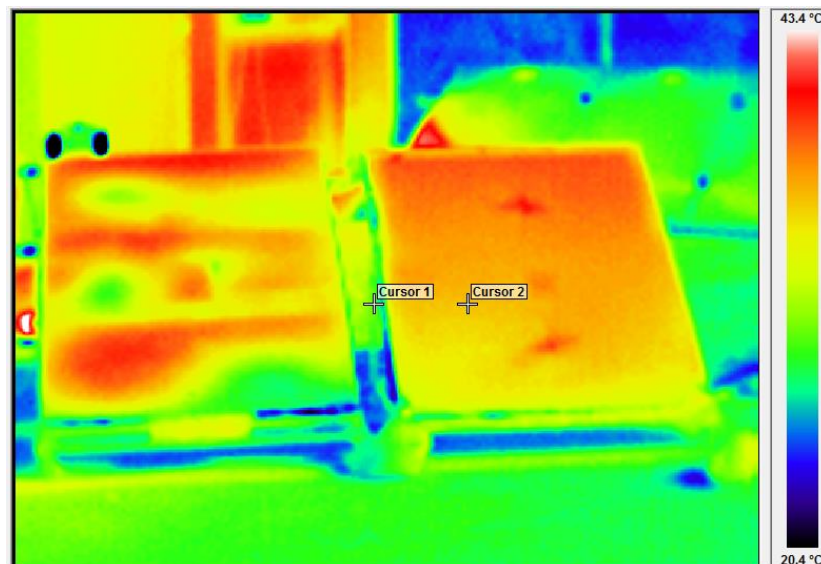
Πρώτα θα αναφέρουμε τον υπολογισμό των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

- Ακτινοβολία $ht = (\text{ένδειξη βολτόμετρου} / 14,24) * 1.000$
- Εμβαδόν μεγάλου πλαισίου $S = 1.4\text{m} * 1\text{m} = 1.4 \text{ m}^2$
- Εμβαδόν μικρού πλαισίου $S' = 0,293\text{m} * 0,353\text{m} = 0,1034\text{m}^2$
- Απόδοση πλαισίου $n = (P_{\text{max}} / ht * S) * 100$
- Ισχύς $P = V * I$

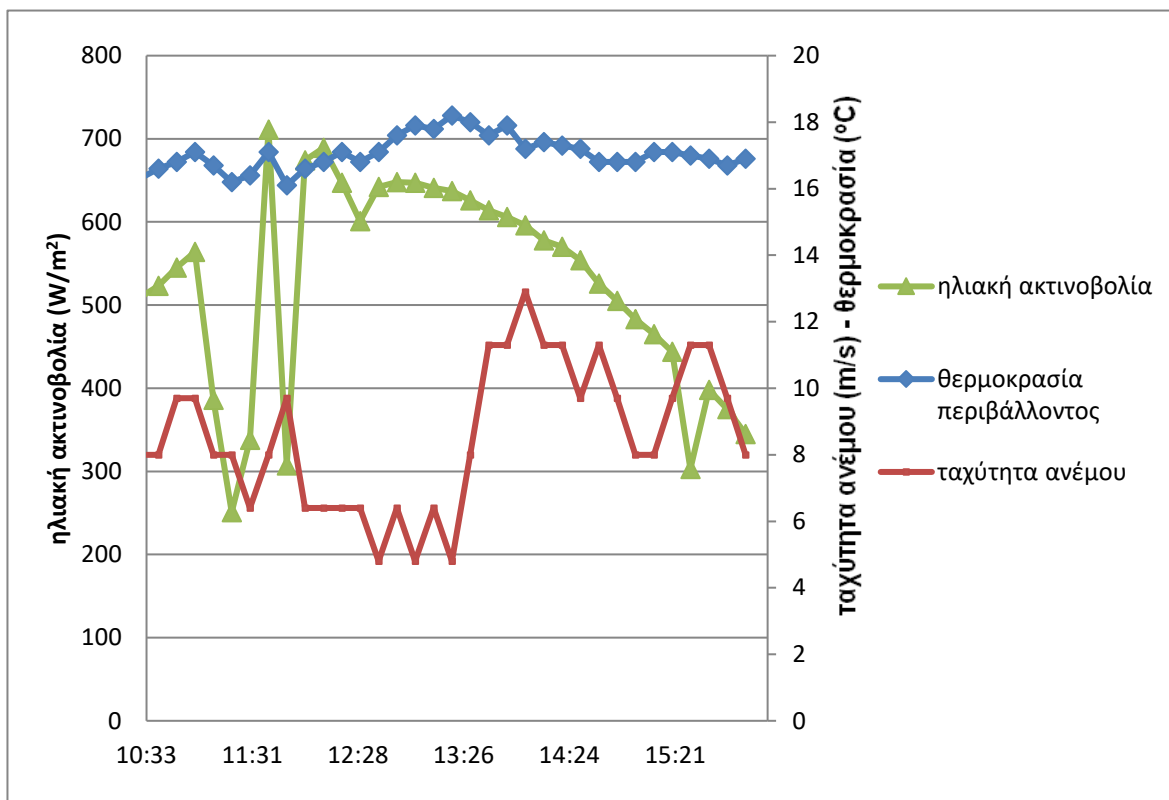
22/2/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός)

Θερμική απεικόνιση

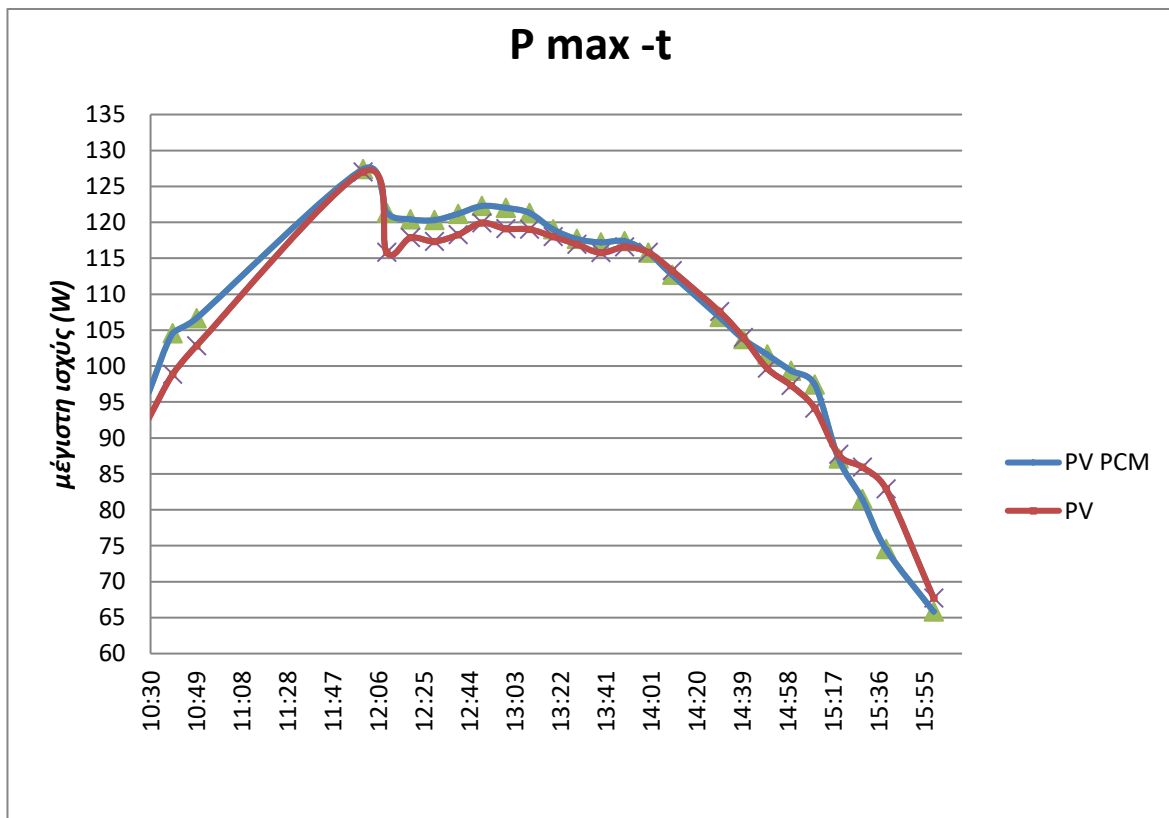
Εικόνα 13 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 11.00



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Οι ζώνες διακύμανσης θερμότητας που παρατηρούνται στο αριστερό Φ/Β οφείλονται στο γεγονός πως η δεξαμενή με το ΥΑΦ είναι χωρισμένη σε τρεις υποδεξαμενές για ευκολότερη διαχείριση του ΥΑΦ.

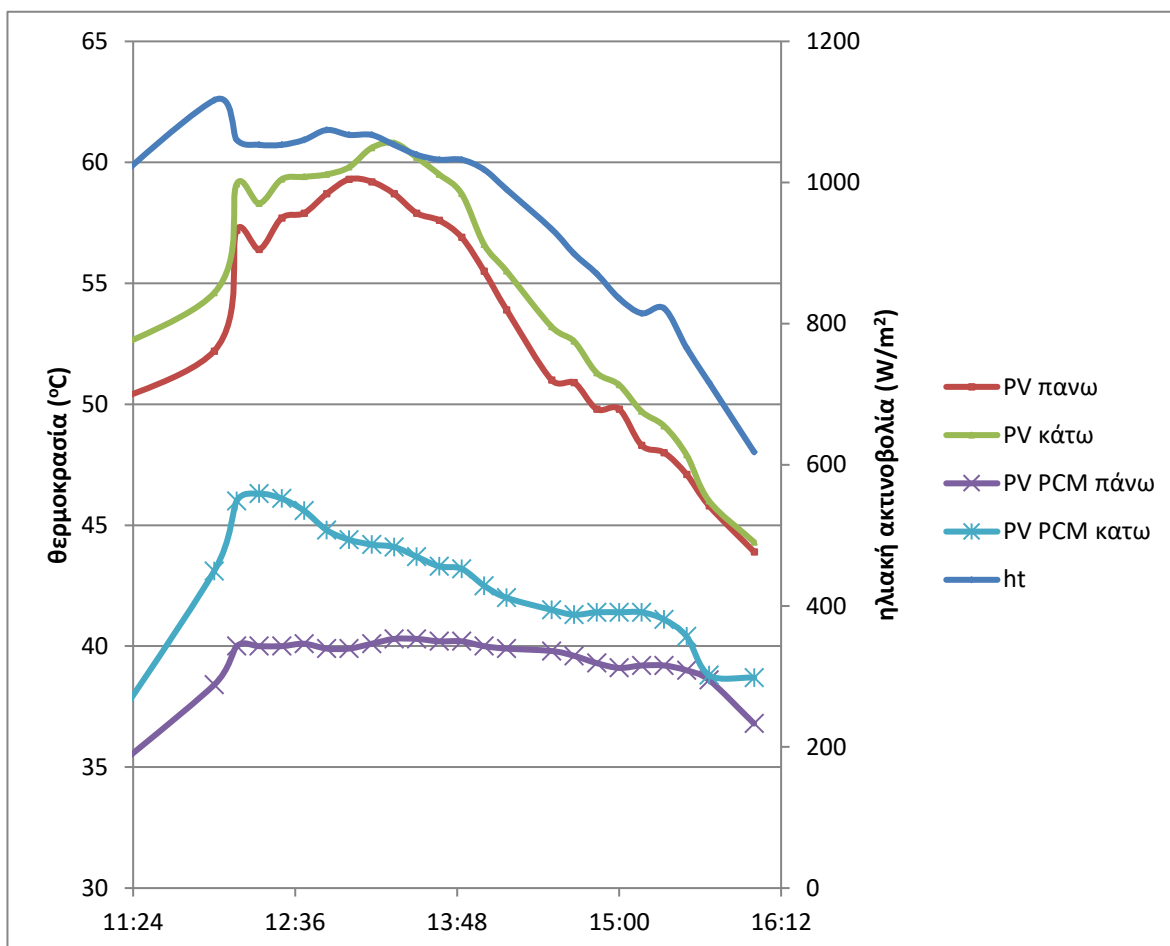


Διάγραμμα 4 καιρικές συνθήκες (22/2/17)



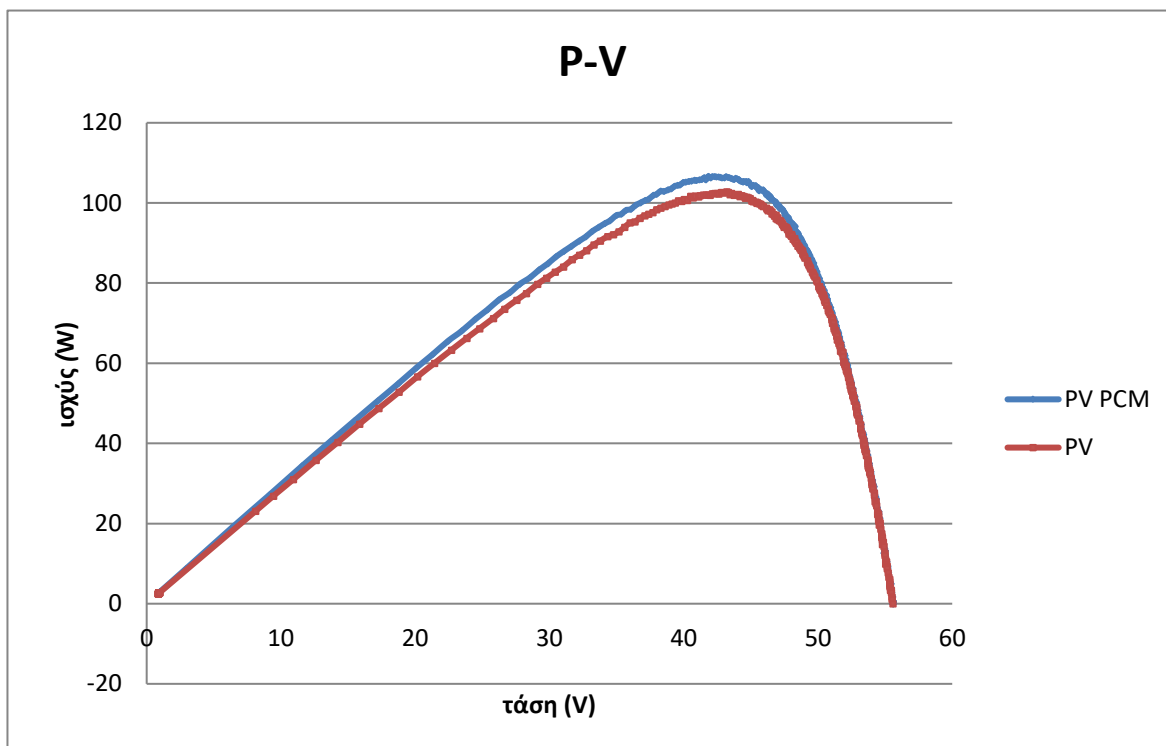
Διάγραμμα 5 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Όσον αφορά το διάγραμμα μέγιστης ισχύος σχετικά με το χρόνο, παρατηρείται η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β με ψύξη είναι αυξημένη κυρίως κατά τις πρωινές ώρες σε σχέση ισχύος του Φ/Β αναφοράς. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 12.00 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 127W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 128W.

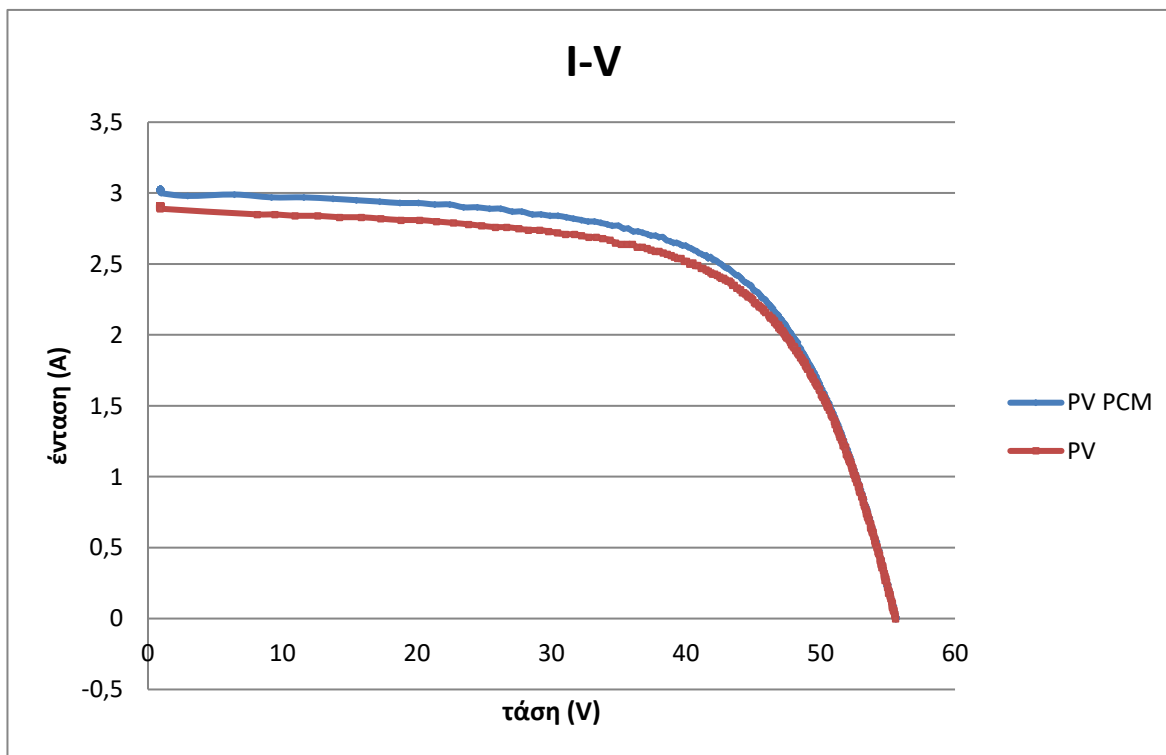


Διάγραμμα 6 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 6 των θερμοκρασιών υπάρχει διακριτή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του πλαισίου με παθητική ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μέγιστη διαφορά αγγίζει τους 18°C κατά τις πρωινές ώρες, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, και συγκεκριμένα στην μέτρηση των 10:50. Η διαφορά που παραμένει κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων είναι πάνω από 10°C, υποδεικνύοντας την συμβολή του ΥΑΦ στην τήρηση χαμηλής θερμοκρασίας του πλαισίου.



Διάγραμμα 7 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.50



Διάγραμμα 8 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.50

Πίνακας 10 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

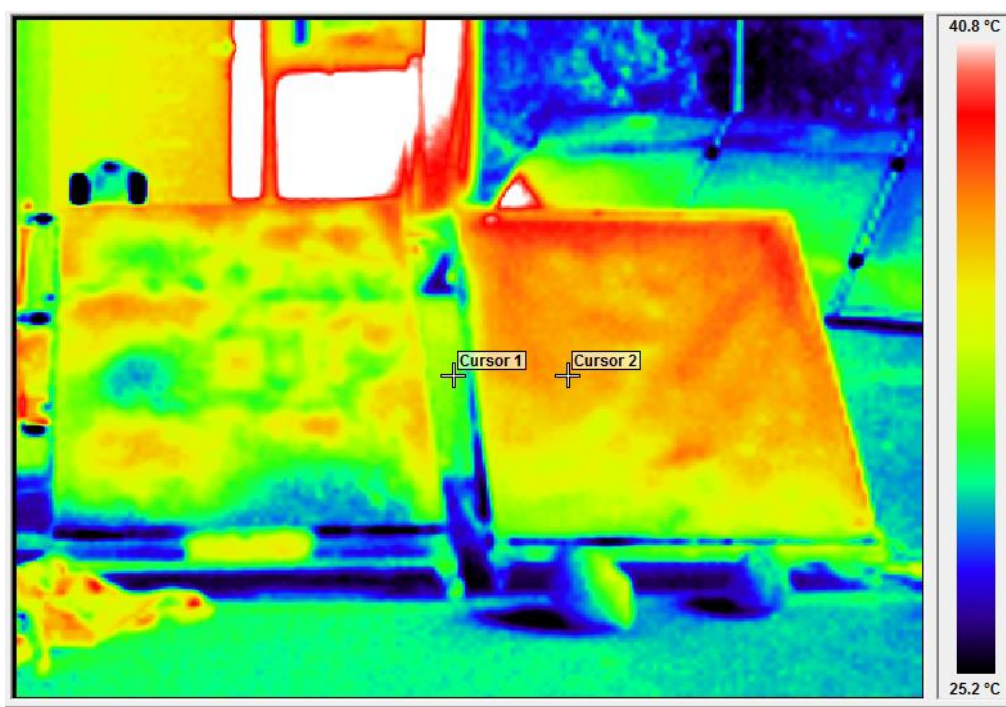
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV-PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
927	17.1	7,92	8,22	0.64	0.64	3,8

Η καλύτερη απόδοση του Φ/Β με ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτή στο διάγραμμα 7, όπου το σημείο καμπής της καμπύλης του διαγράμματος ισχύος-τάσης για το Φ/Β με ψύξη απεικονίζεται υψηλότερα από αυτό της αναφοράς. Το ίδιο συμπέρασμα περί υπεροχής μπορεί να υποστηριχθεί και από τα δεδομένα του πίνακα 10, όπου το πλαίσιο με το σύστημα ψύξης υπερέχει κατά 0,3% στην απόδοση του κατά τις πρωινές μετρήσεις συγκριτικά με το πλαίσιο αναφοράς.

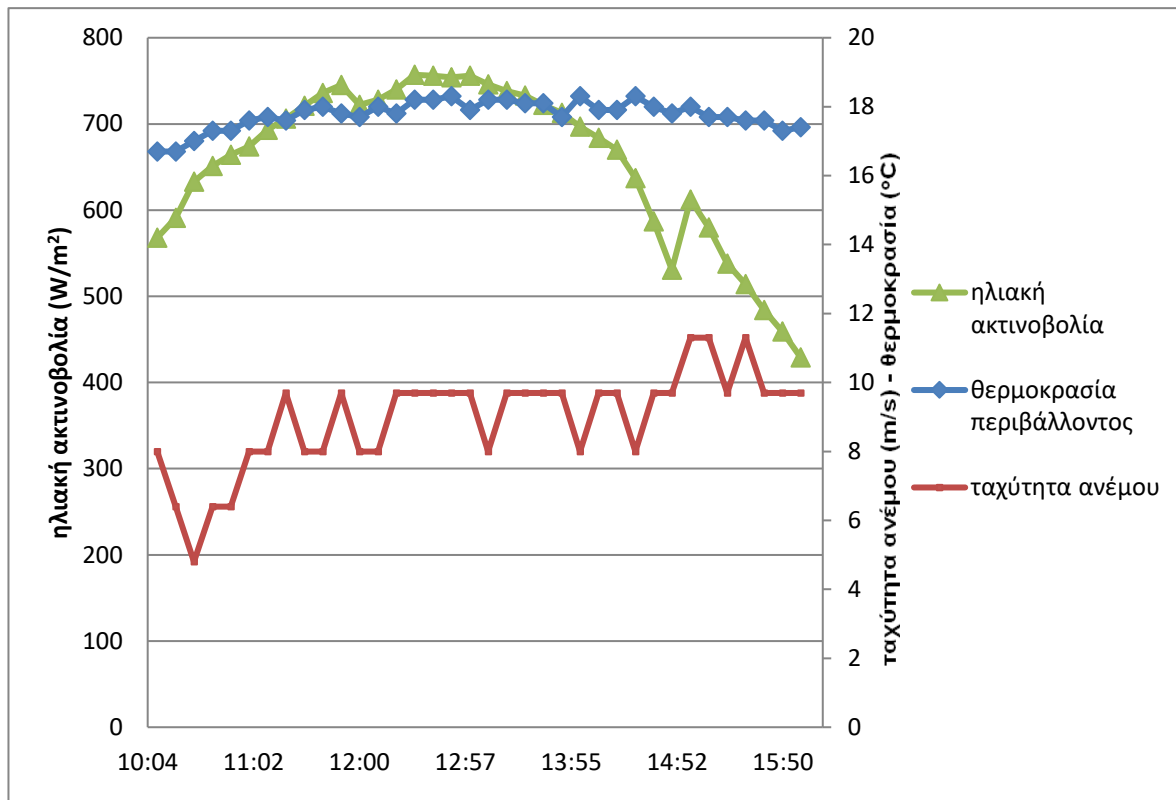
23/3/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

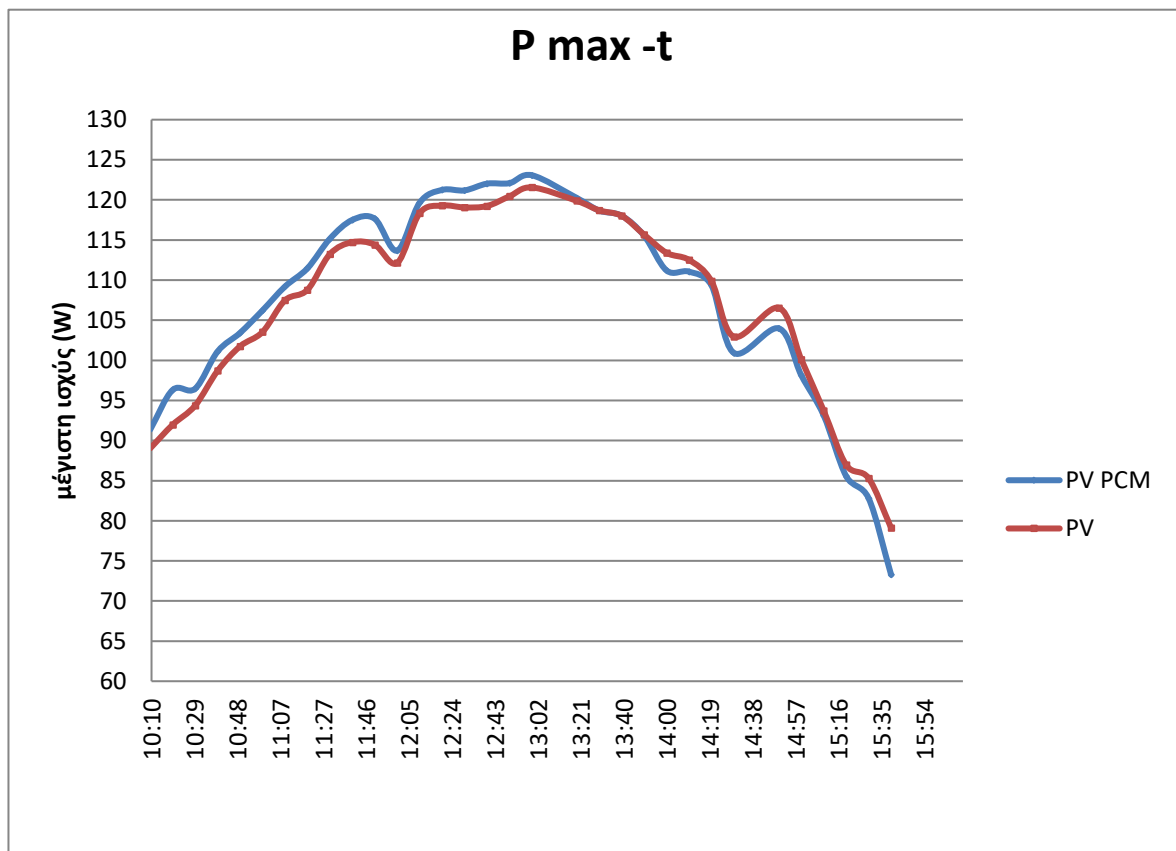
Εικόνα 14 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 9.00



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Η φωτογραφία υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες, καθώς η ώρα λήψης της συγκεκριμένης φωτογραφίας είναι 9.00.

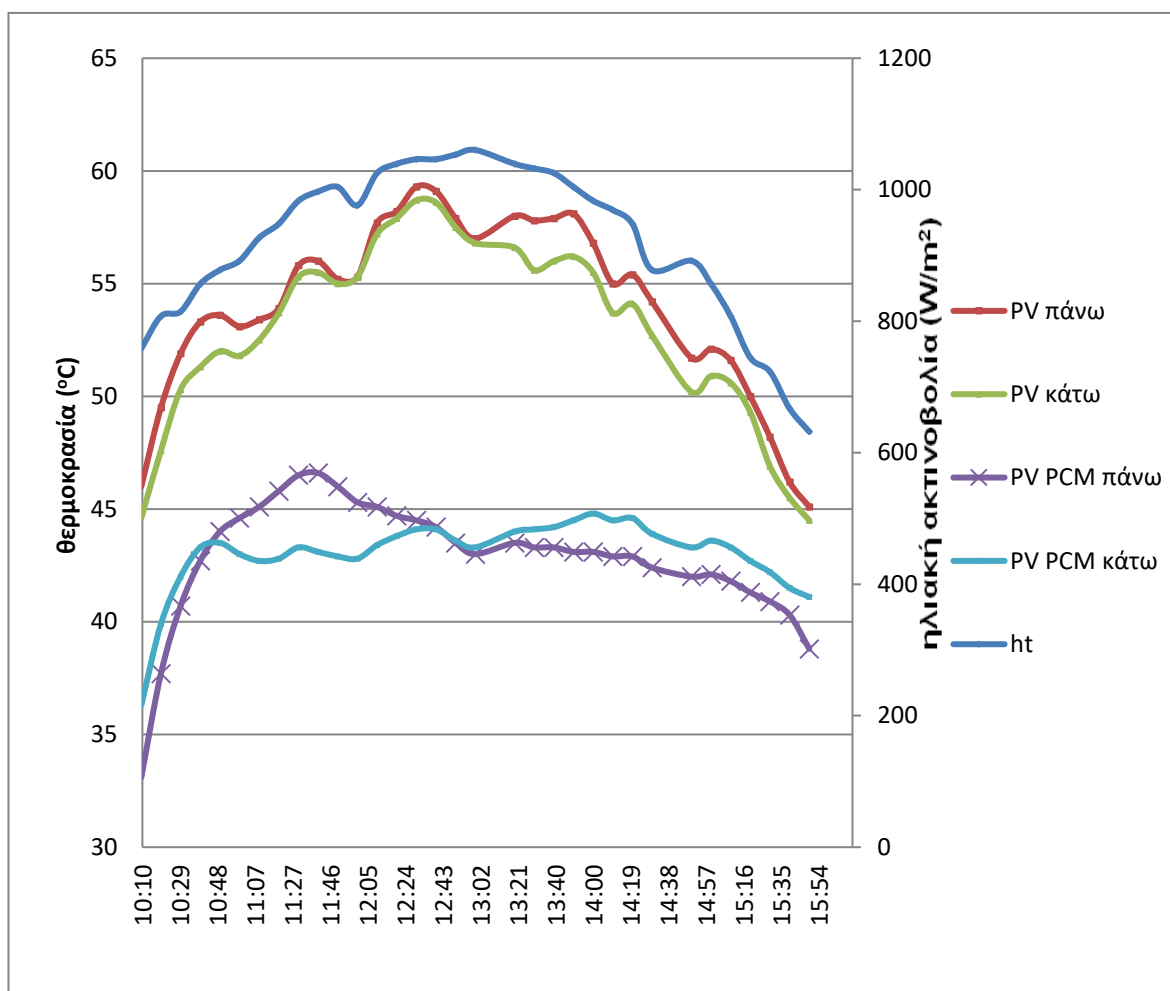


Διάγραμμα 9 καιρικές συνθήκες (23/3/17)



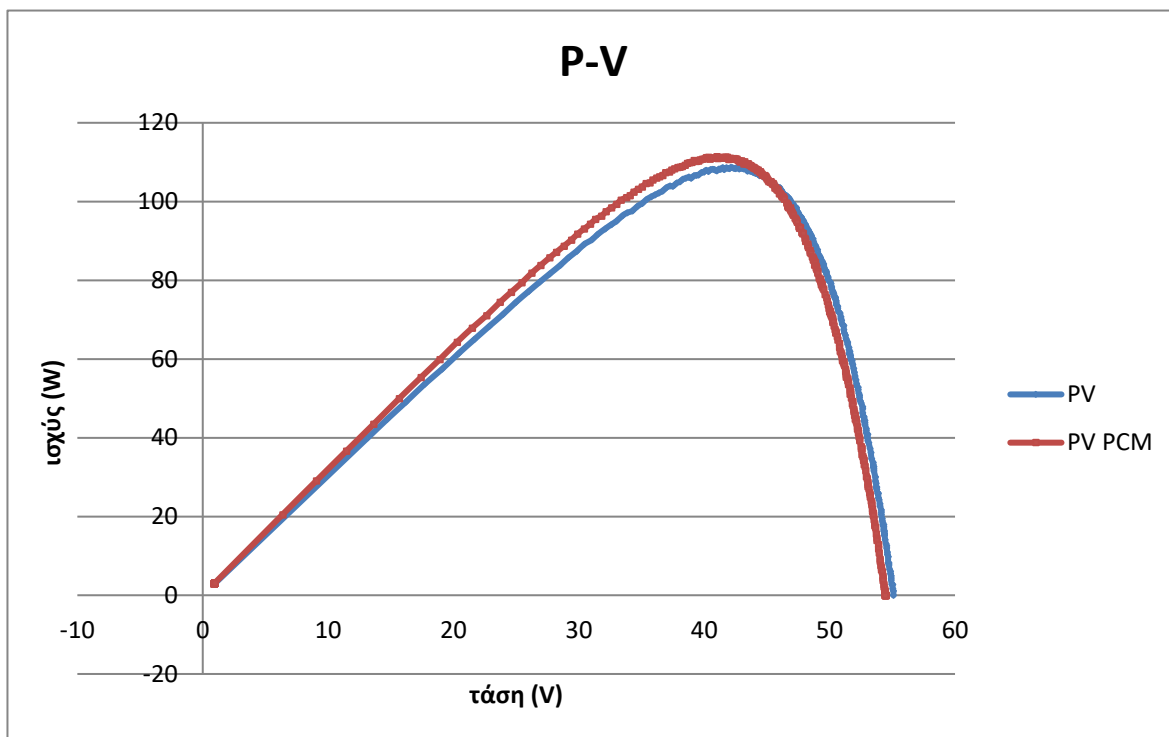
Διάγραμμα 10 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα μέγιστης ισχύος σε σχέση με το χρόνο(διάγραμμα 10), παρατηρείται η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β με ψύξη να είναι αυξημένη, κυρίως κατά τις πρωινές ώρες, σε σχέση με την ισχύς του Φ/Β αναφοράς. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 13.00 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 121W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 123W.

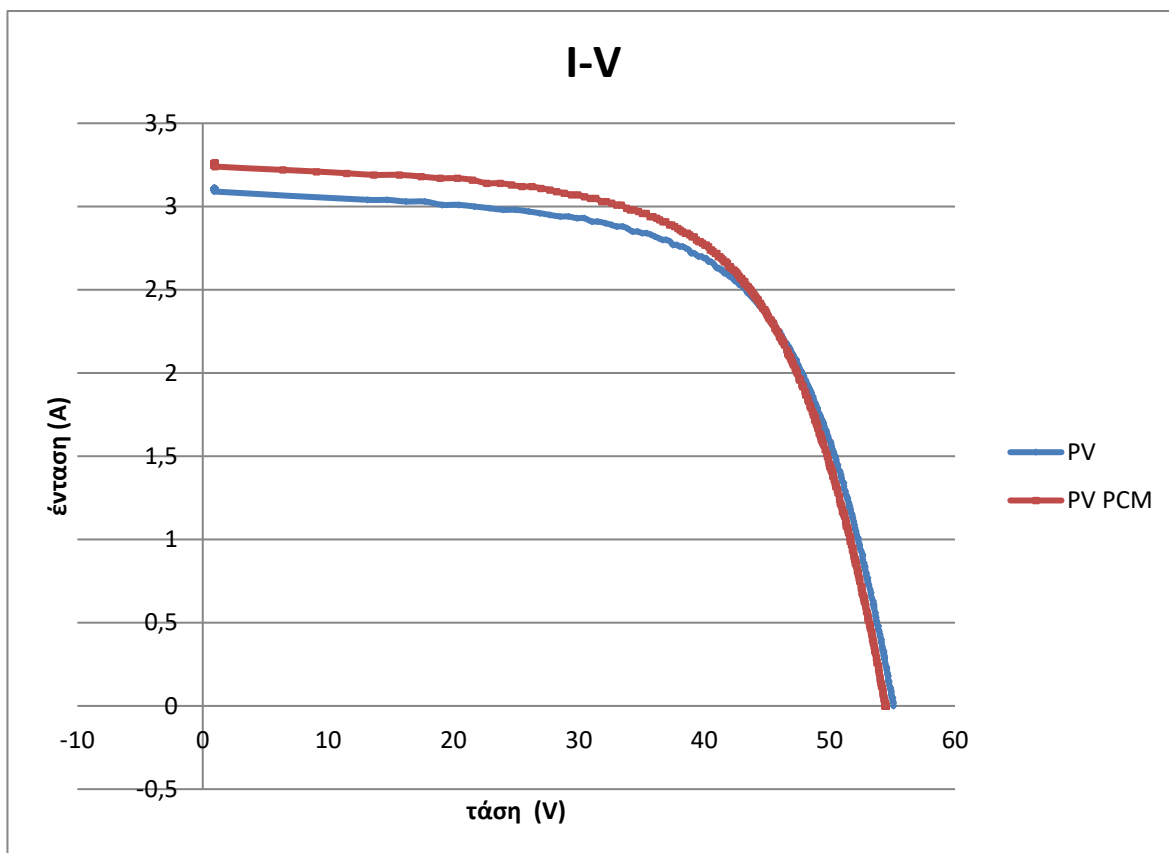


Διάγραμμα 11 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 11 των θερμοκρασιών παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του Φ/Β με ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις θερμοκρασίες των πλαισίων προσεγγίζει τους 15°C στη μέτρηση των 12:40. Καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων παραμένει κοντά στους 10°C και μειώνεται μόνο προς το πέρας της ημέρας, μετά τις 15.00, όπου έχει συμβεί αλλαγή της φάσης του ΥΑΦ.



Διάγραμμα 12 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20



Διάγραμμα 13 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20

Πίνακας 11 Παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

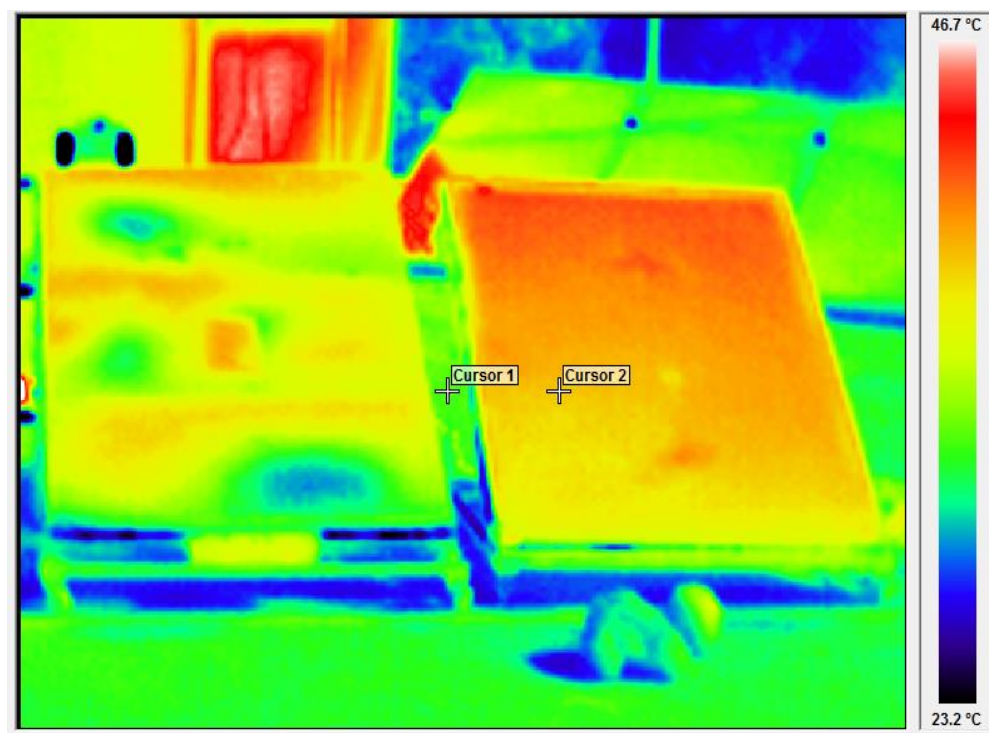
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV-PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
948	17.7	8.20	8.40	0.64	0.63	2,4

Στο διάγραμμα 12, το σημείο καμπής του διαγράμματος ισχύος-τάσης για τις πρωινές ώρες, όπου ακόμα δεν έχει γίνει αλλαγή φάσης για το ΥΑΦ, το Φ/Β με ψύξη αποδίδει καλύτερα συγκριτικά με αυτό της αναφοράς. Το ίδιο ισχύει στο διάγραμμα 13 καθώς και στον πίνακα 11, όπου γίνεται αντιληπτή η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη, τουλάχιστον για τις πρωινές ώρες με διαφορά στην απόδοση τους να είναι στο 0,2%.

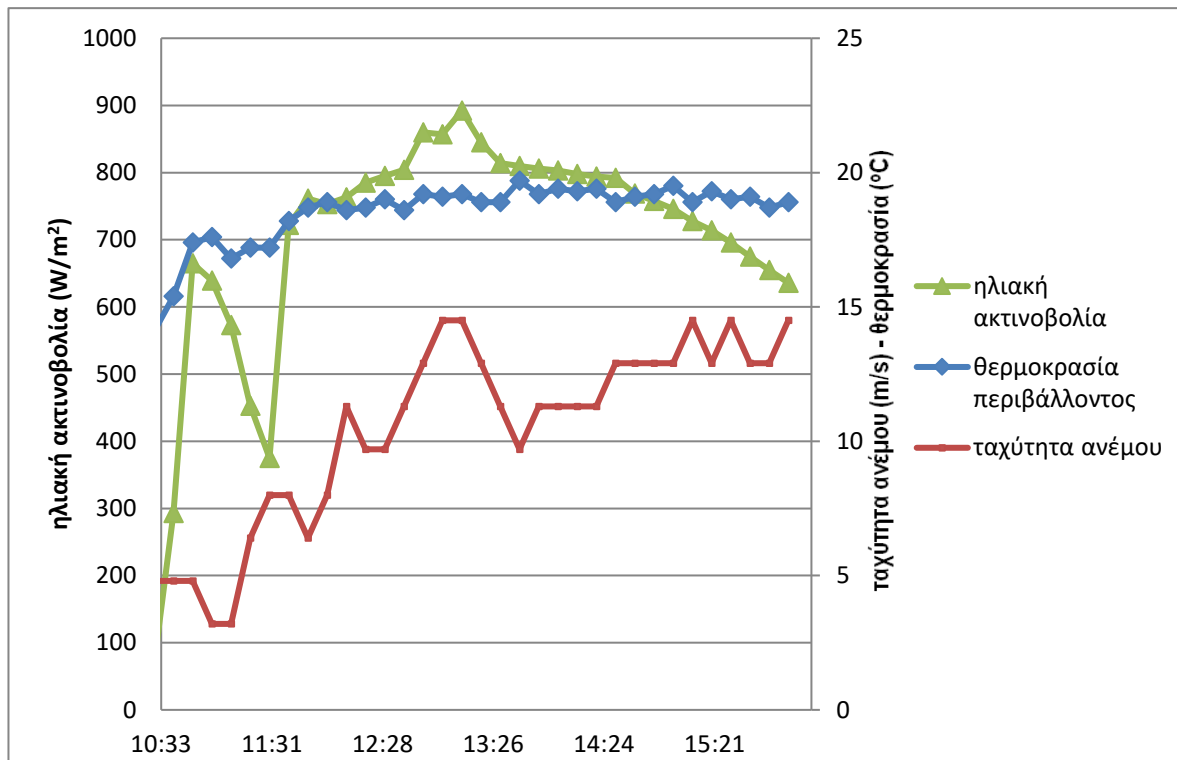
6/4/17(καιρός συννεφιασμένος, άνεμος ισχυρός)

Θερμική απεικόνιση

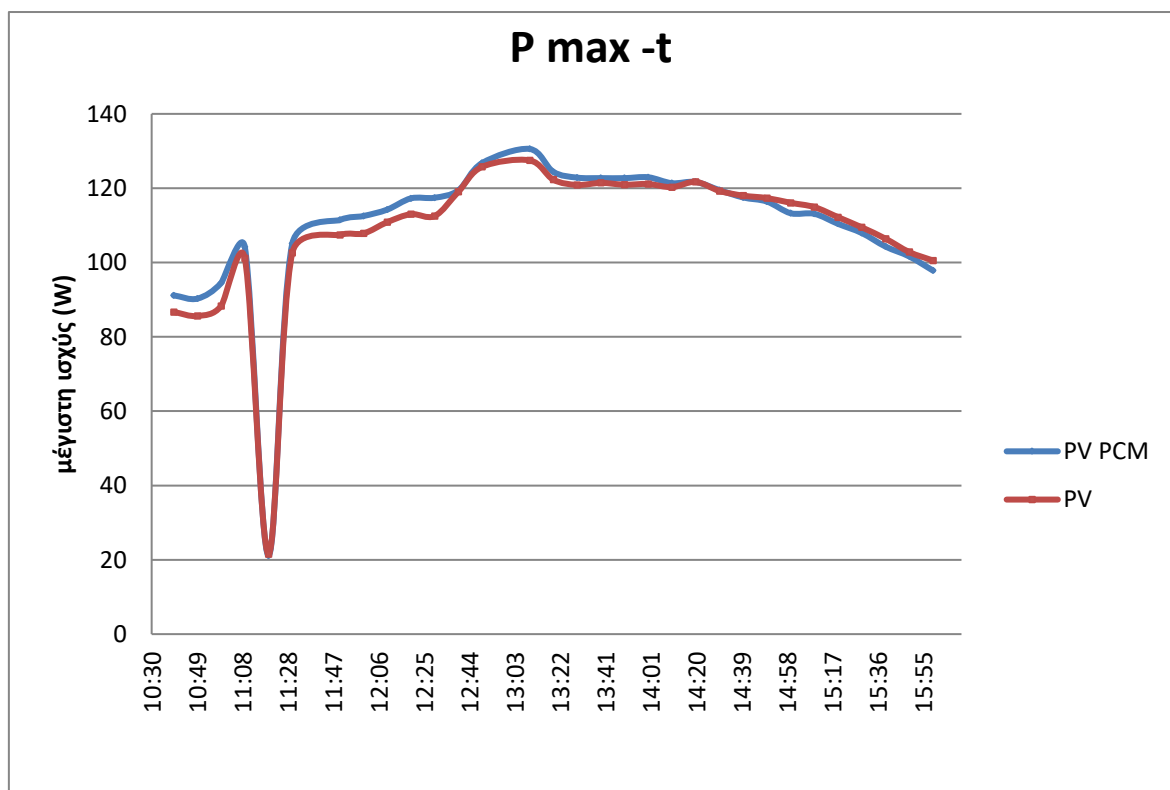
Εικόνα 15 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.00



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Η φωτογραφία υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες, καθώς η ώρα λήψης της συγκεκριμένης φωτογραφίας είναι 10.00.

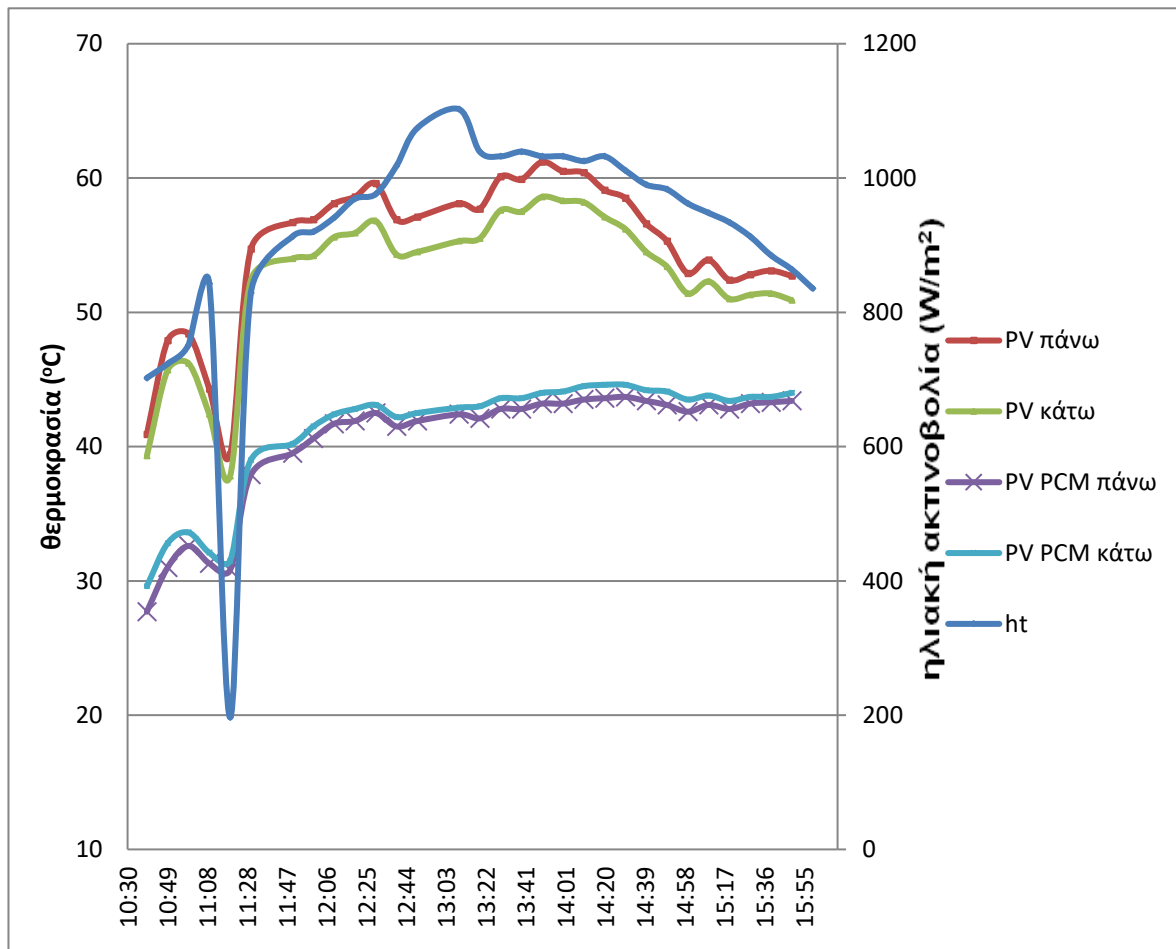


Διάγραμμα 14 καιρικές συνθήκες (6/4/17)



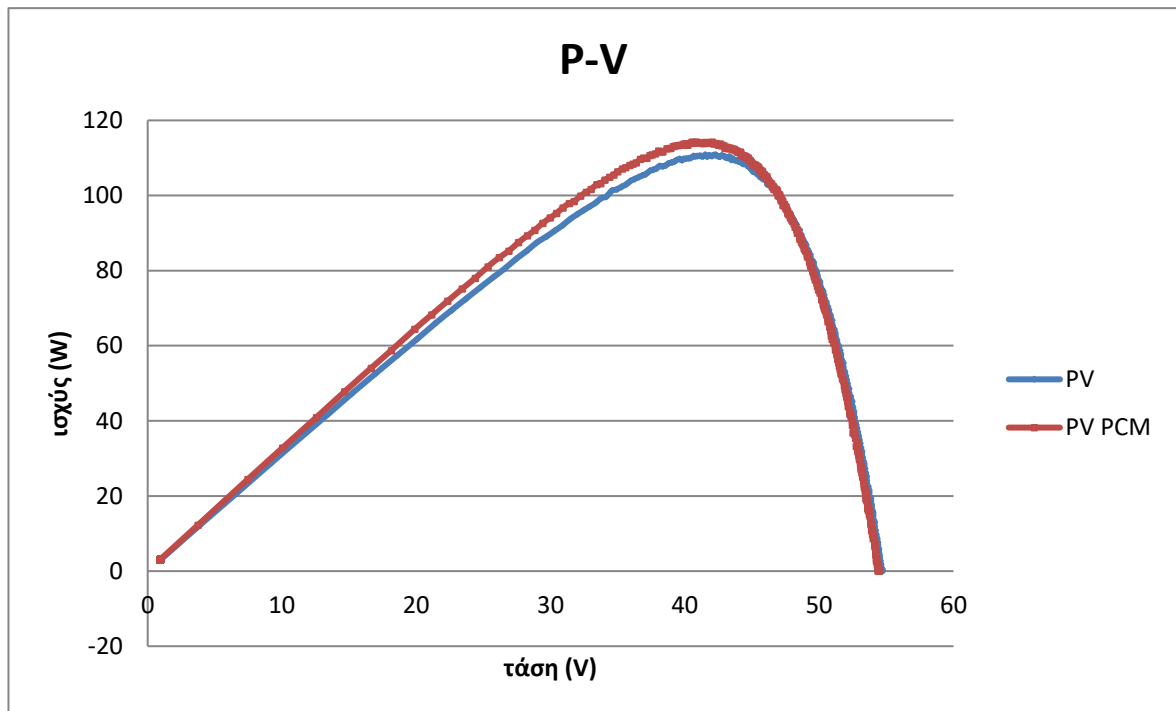
Διάγραμμα 15 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα μέγιστης ισχύος, (διάγραμμα 15) η ισχύς του Φ/Β με ψύξη είναι για τις πρωινές ώρες ελαφρώς υψηλότερη από την ισχύ του Φ/Β αναφοράς. Κοντά στις 12.00 υπάρχει ταύτιση των δύο ποσών, κι έπειτα η ισχύς του Φ/Β αναφοράς ξεπερνάει αυτή της ψύξης. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 13.10 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 127W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 130W.

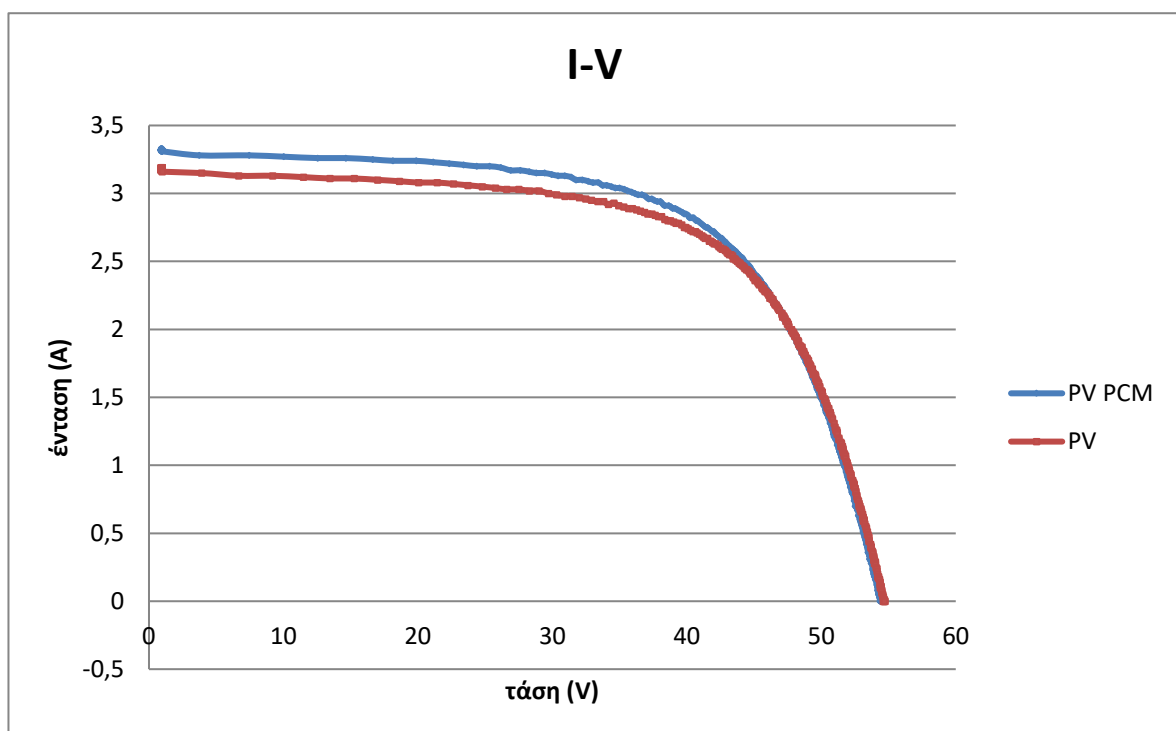


Διάγραμμα 16 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 16 των θερμοκρασιών παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του Φ/Β με ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις θερμοκρασίες των πλαισίων προσεγγίζει τους 17.2° C στη μέτρηση των 13:50. Καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων η διαφορά των θερμοκρασιών των πλαισίων παραμένει πάνω από τους 10° C με πολλές φορές να προσεγγίζει μέχρι και τους 15°C.



Διάγραμμα 17 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 12.10



Διάγραμμα 18 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.10

Πίνακας 12 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

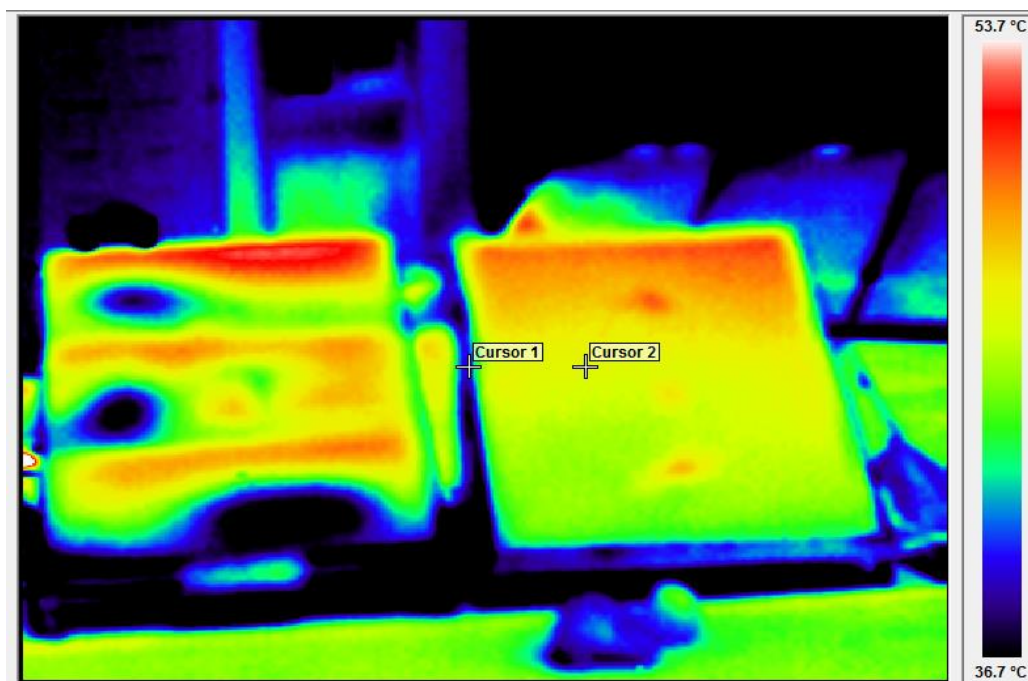
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV- PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
941	18.5	8.41	8.67	0.63	0.64	3,1

Η υπεροχή του Φ/Β με ψύξη για τις πρωινές ώρες μπορεί να γίνει αντιληπτή στα διαγράμματα 17 και 18, όπου το σημείο καμπής της γραφικής αναπαράστασης ισχύος- τάσης και τάσης - έντασης για το Φ/Β με ψύξη αναπαρίσταται ψηλότερα από αυτό της αναφοράς. Το ίδιο ισχύει και στον πίνακα 12, όπου γίνεται αντιληπτή η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη, τουλάχιστον για τις πρωινές ώρες, με τη διαφορά στην απόδοση τους να είναι στο 0,26% κατά τη μέτρηση των 12:10.

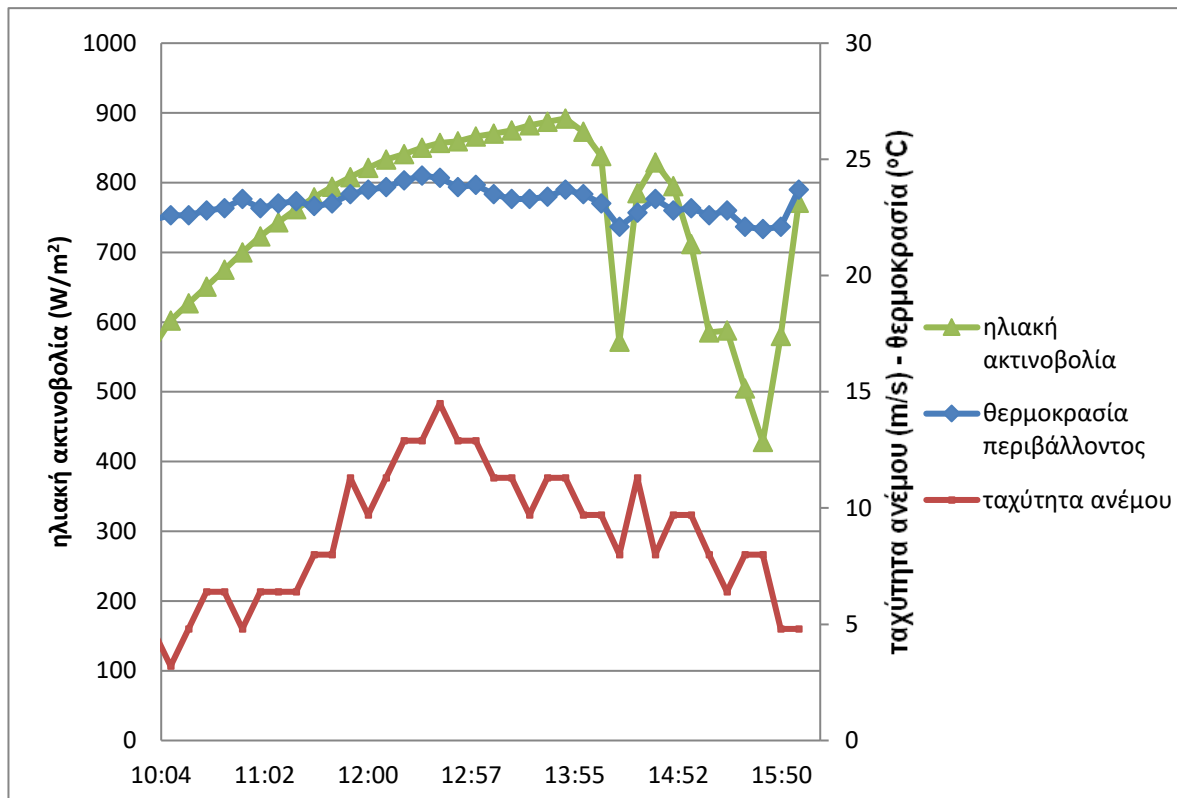
2/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

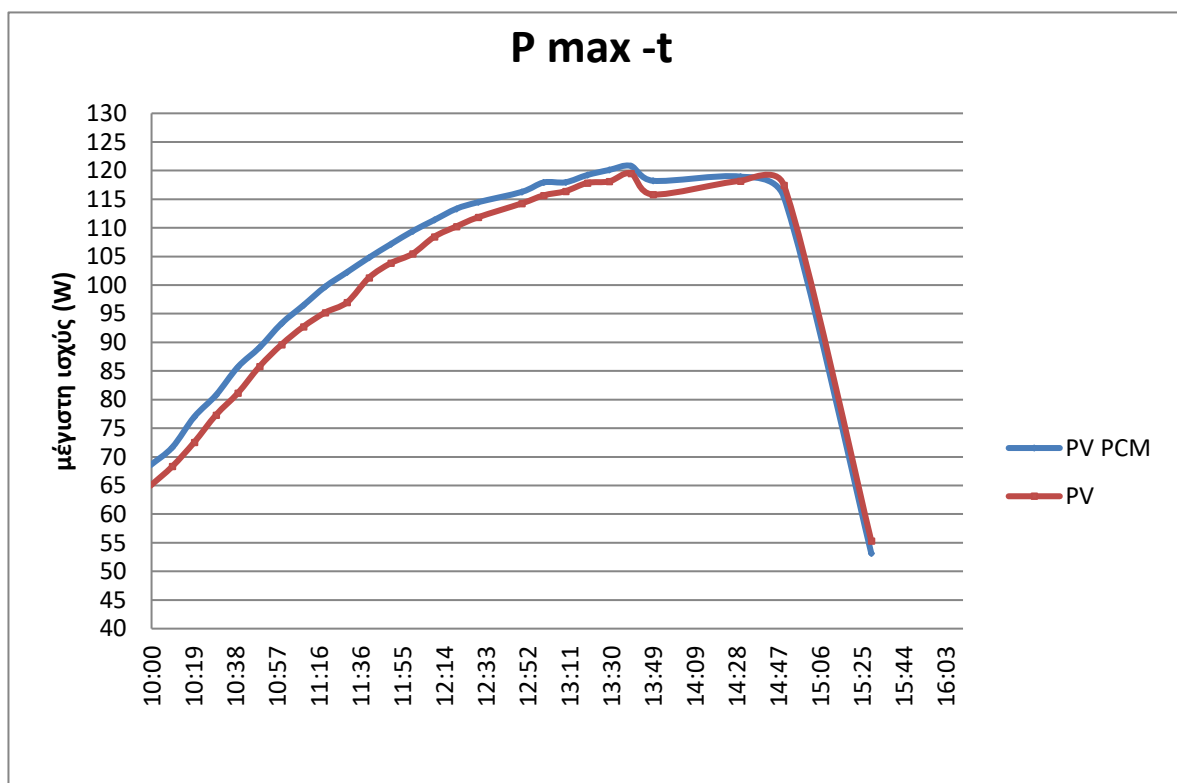
Εικόνα 16 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 12.10



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο με το ΥΑΦ (αριστερά) με κάποια σημεία του θερμότερα από το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς. Ο λόγος είναι πως το ΥΑΦ είναι χωρισμένο σε τρεις υποδεξαμενές, προκειμένου να επιτυγχάνεται η καλύτερη διαχείριση του. Συνεπώς, οι ζώνες με μεγαλύτερη θερμοκρασία είναι τα χωρίσματα των υποδεξαμενών, εξ' ου και τα αποτελέσματα της θερμοκάμερας.

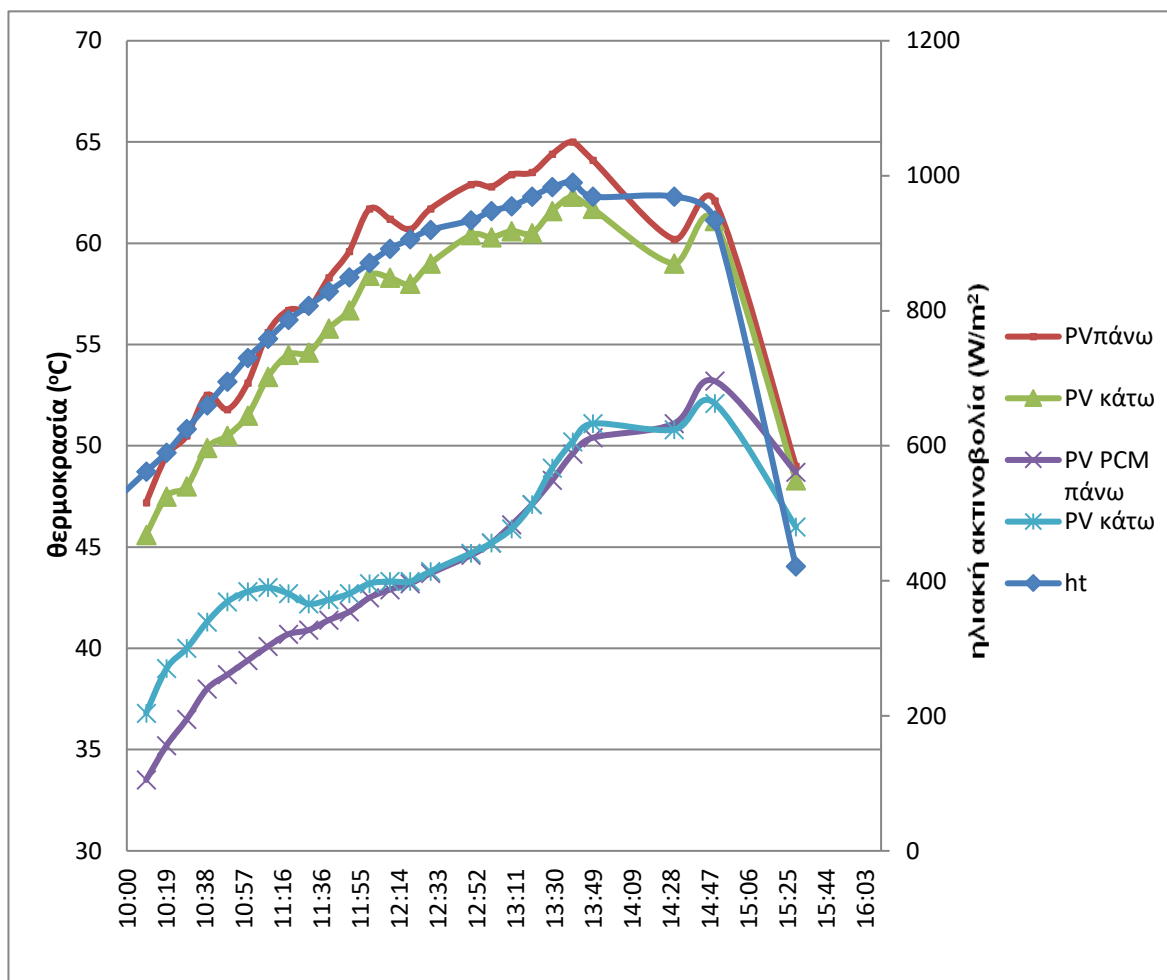


Διάγραμμα 19 καιρικές συνθήκες (2/5/17)



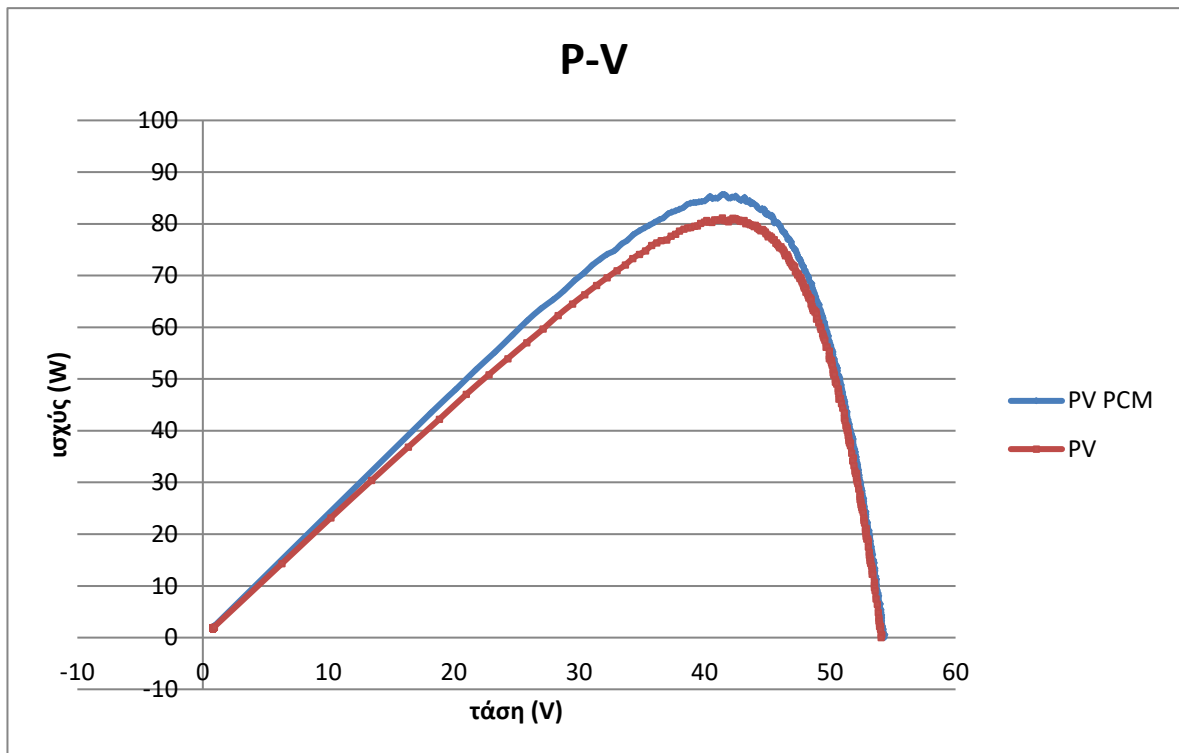
Διάγραμμα 20 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Όσον αφορά τη μέγιστη ισχύ, (διάγραμμα 20) η μέγιστη ισχύς του Φ/Β με ψύξη ξεπερνάει, τις πρωινές ώρες, την ισχύς του Φ/Β αναφοράς, μέχρι τις 14.00. Έπειτα, υπάρχει αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, οπότε η μέγιστη ισχύς του Φ/Β αναφοράς ξεπερνάει αυτή του Φ/Β συστήματος με ψύξη. Η μέγιστη παρουσιάζεται στη μέτρηση των 13.40 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 118 W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 121W.

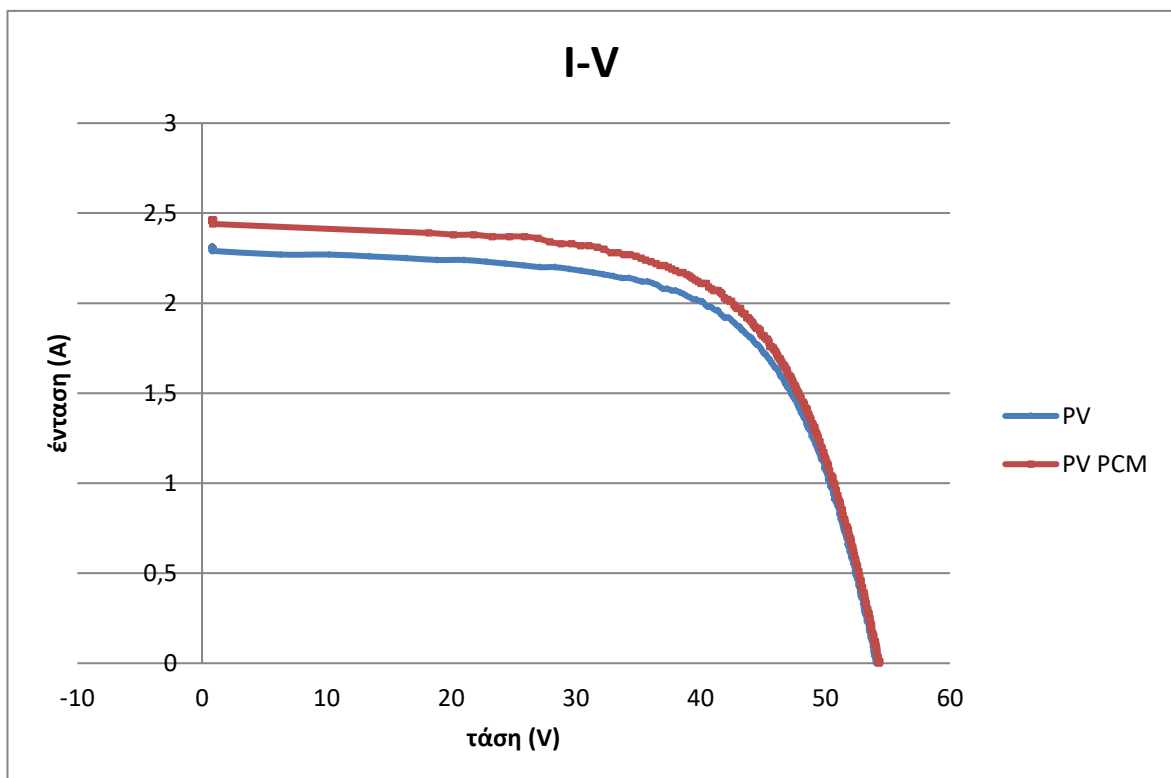


Διάγραμμα 21 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με τον χρόνο

Στο διάγραμμα 21 των θερμοκρασιών παρατηρείται σημαντική διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του Φ/Β με ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις θερμοκρασίες των πλαισίων προσεγγίζει τους 19°C στη μέτρηση των 12:00. Καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων η διαφορά παραμένει κοντά στους 15°C και μειώνεται μόνο προς το πέρας της ημέρας, μετά τις 15.00, όπου έχει συμβεί αλλαγή της φάσης του ΥΑΦ.



Διάγραμμα 22 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.40



Διάγραμμα 23 τάση- ένταση για τη μέτρηση στις 10.40

Πίνακας 13 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
695	23.1	8,82	9,16	0.65	0.64	3,9

Στο διάγραμμα 22, το σημείο καμπής του της γραφικής αναπαράστασης του διαγράμματος ισχύος-τάσης για τις πρωινές ώρες, όπου ακόμα δεν έχει γίνει αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, το Φ/Β με ψύξη αποδίδει καλύτερα συγκριτικά με αυτό της αναφοράς. Ομοίως, στο διάγραμμα 23, γίνεται αντιληπτή η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη. Το ίδιο ισχύει και στον πίνακα 13, όπου το Φ/Β πλαίσιο με ψύξη, έχει διαφορά στην απόδοση με το πλαίσιο αναφοράς της τάξεως του 0,34% στη μέτρηση των 10:40.

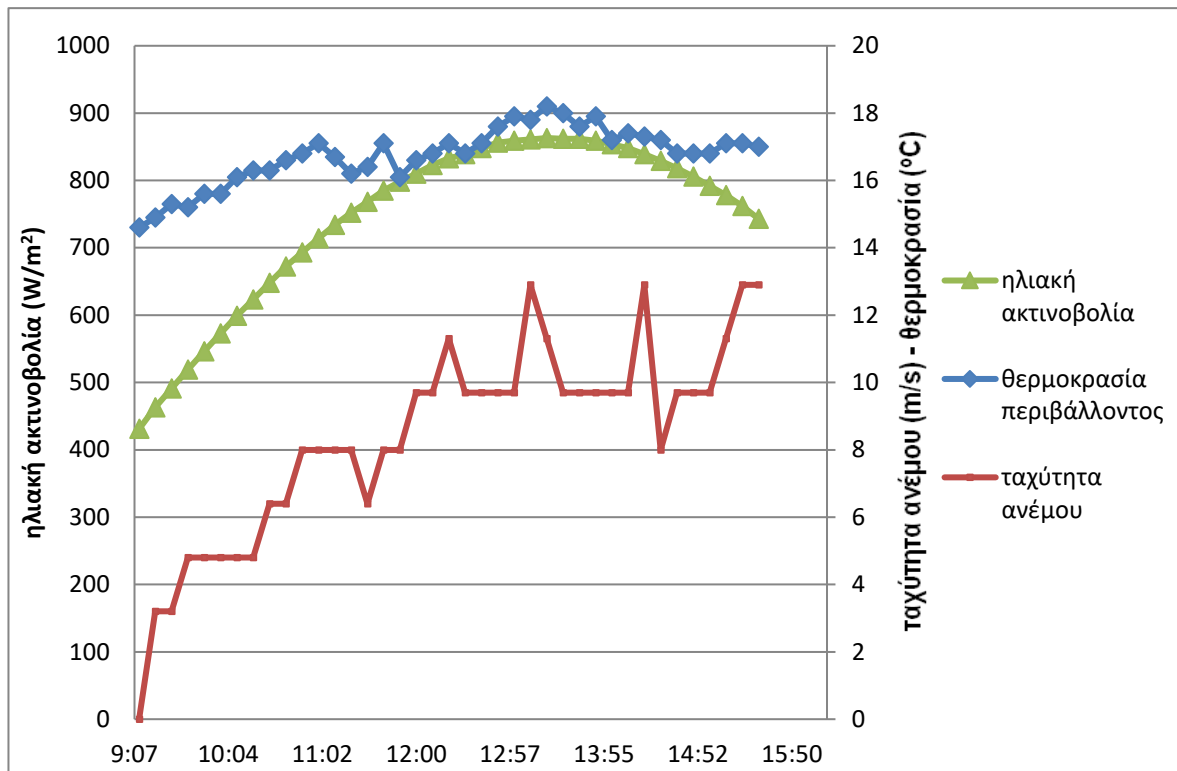
4/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός)

Θερμική απεικόνιση

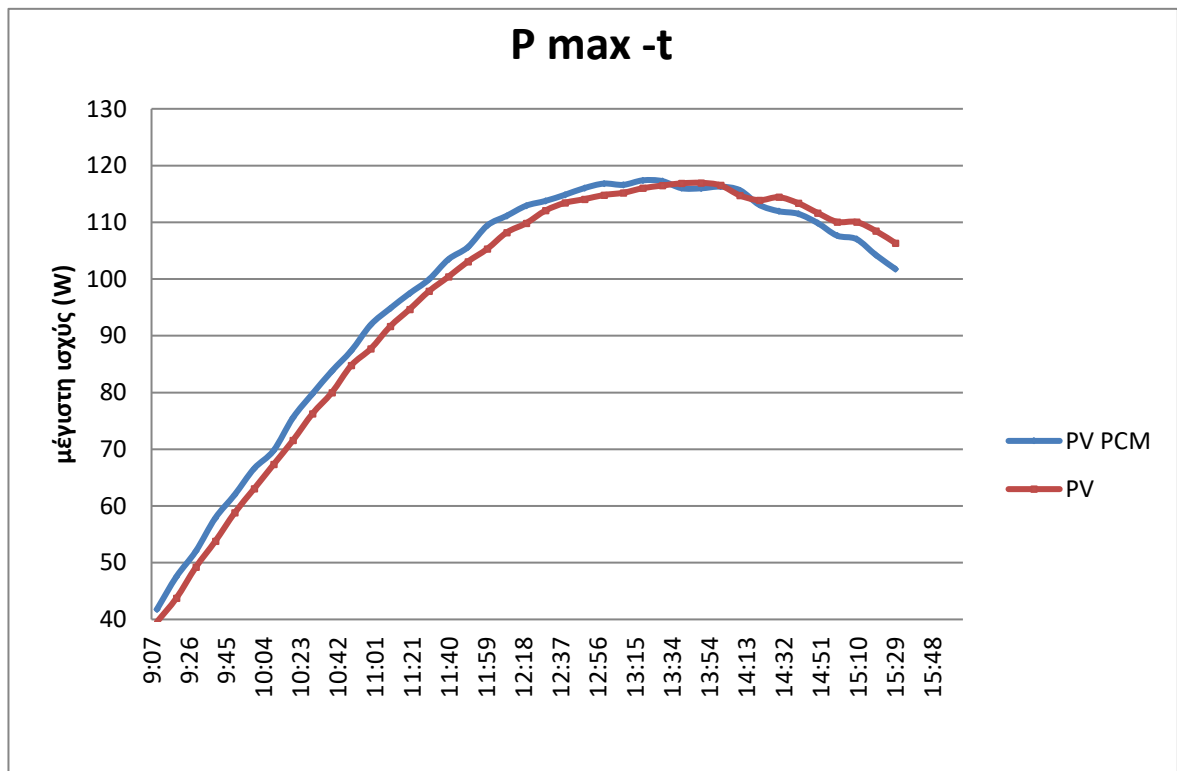
Εικόνα 17 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.00



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά).

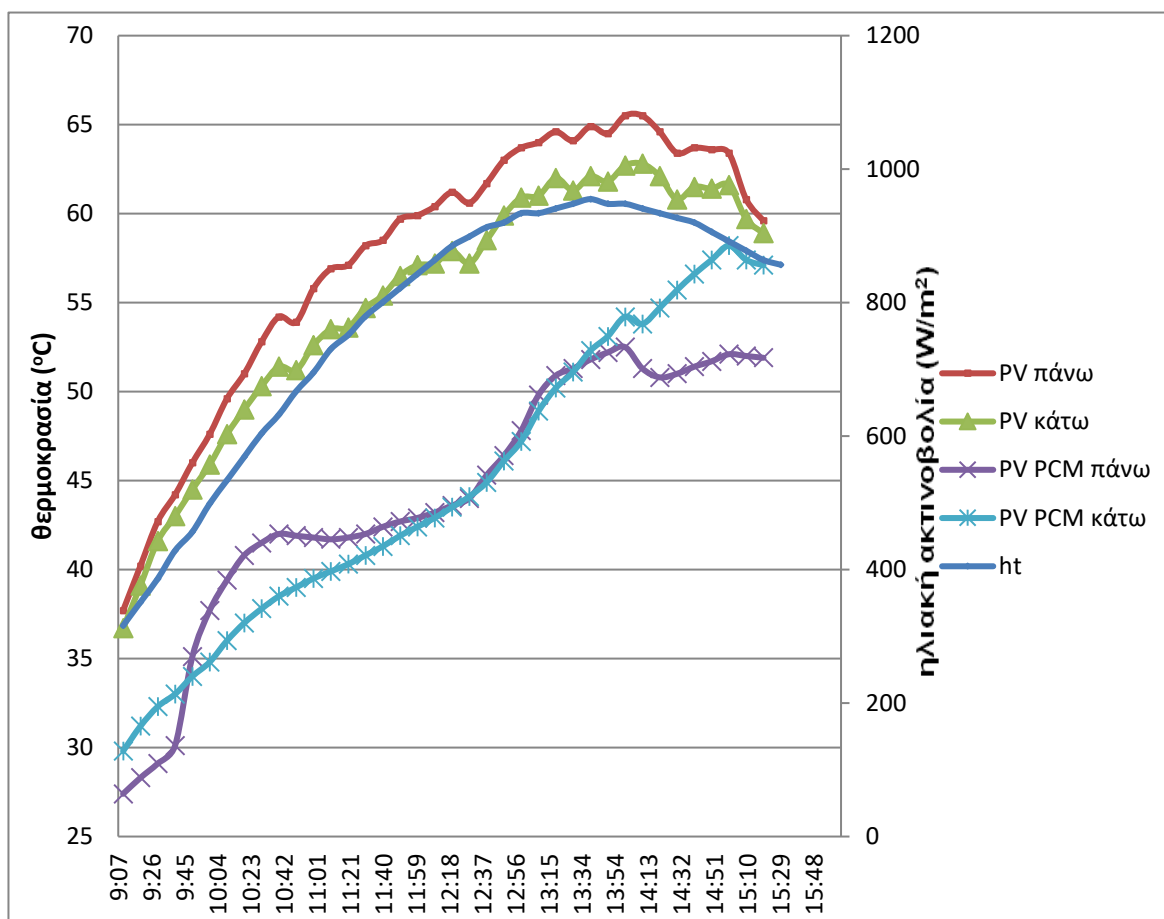


Διάγραμμα 24 καιρικές συνθήκες (4/5/2017)



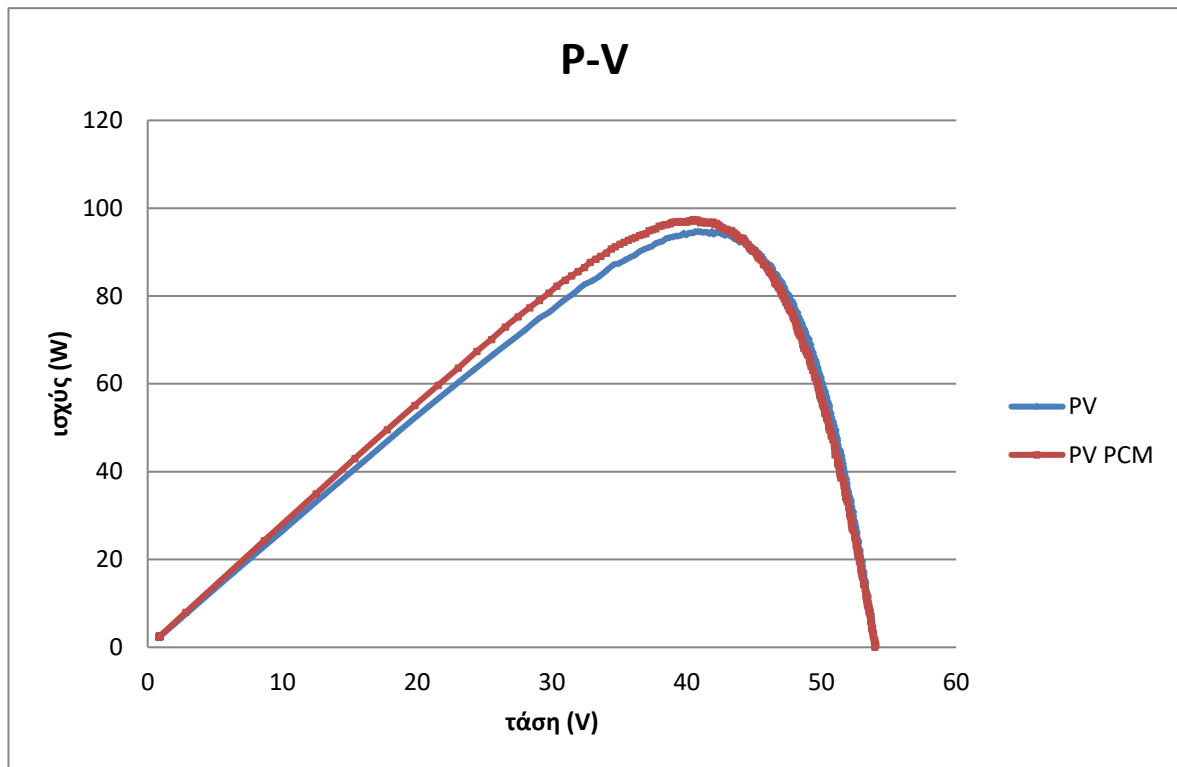
Διάγραμμα 25 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Όσον αφορά το διάγραμμα μέγιστης ισχύος, (διάγραμμα 25) αρχικά η ισχύς του Φ/Β με ψύξη ξεπερνά, τις πρωινές ώρες, ελαφρώς την ισχύς του Φ/Β αναφοράς. Μετά υφίσταται εξίσωση των δύο κι έπειτα η μέγιστη ισχύς του Φ/Β αναφοράς ξεπερνά αυτή της ψύξης. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 14.00 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 116.9W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 117,3 W.

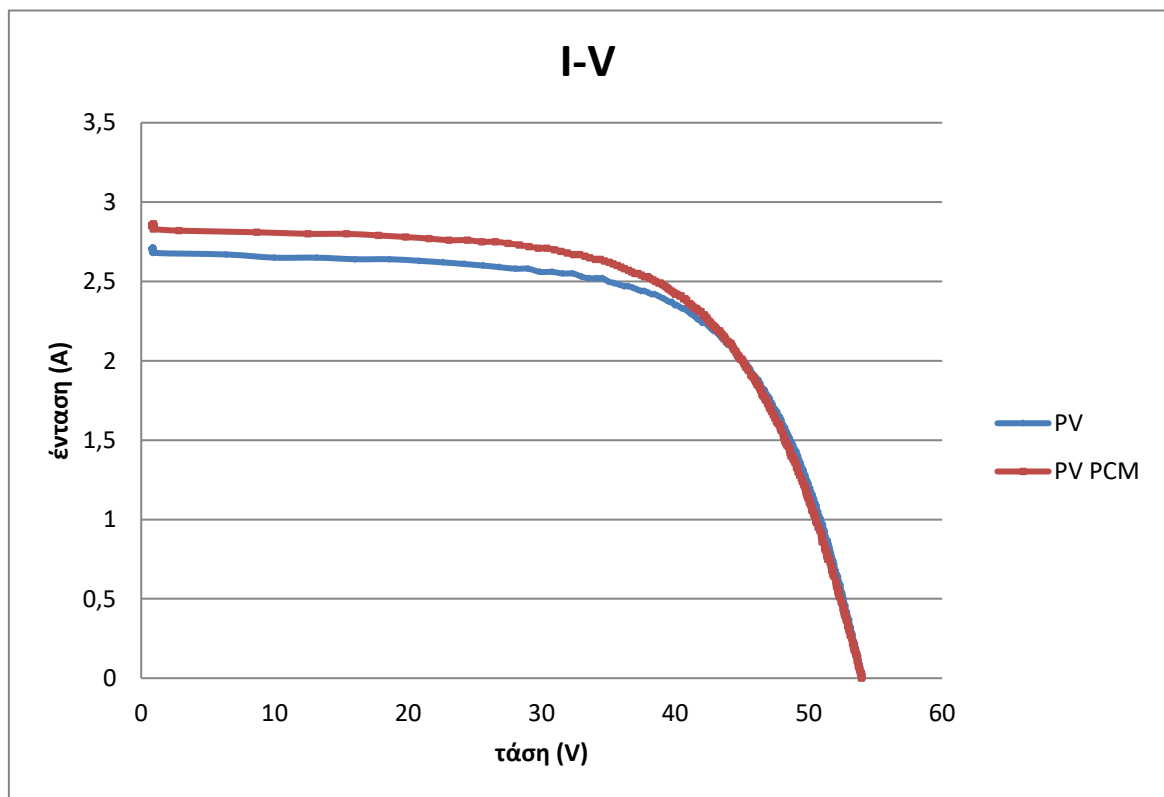


Διάγραμμα 26 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 26 των θερμοκρασιών γίνεται αισθητή η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του Φ/Β με ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο με μέγιστη διαφορά που αγγίζει τους 17,6°C στη μέτρηση των 12.20. Η διαφορά των θερμοκρασιών των δύο πλαισίων παραμένει σταθερά πάνω από τους 10° C καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων με εξαίρεση την τελευταία ώρα δηλαδή από τις 15.00 έως τις 16.00 που πέφτει κάτω από τους 10°C.



Διάγραμμα 27 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20



Διάγραμμα 28 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20

Πίνακας 14 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

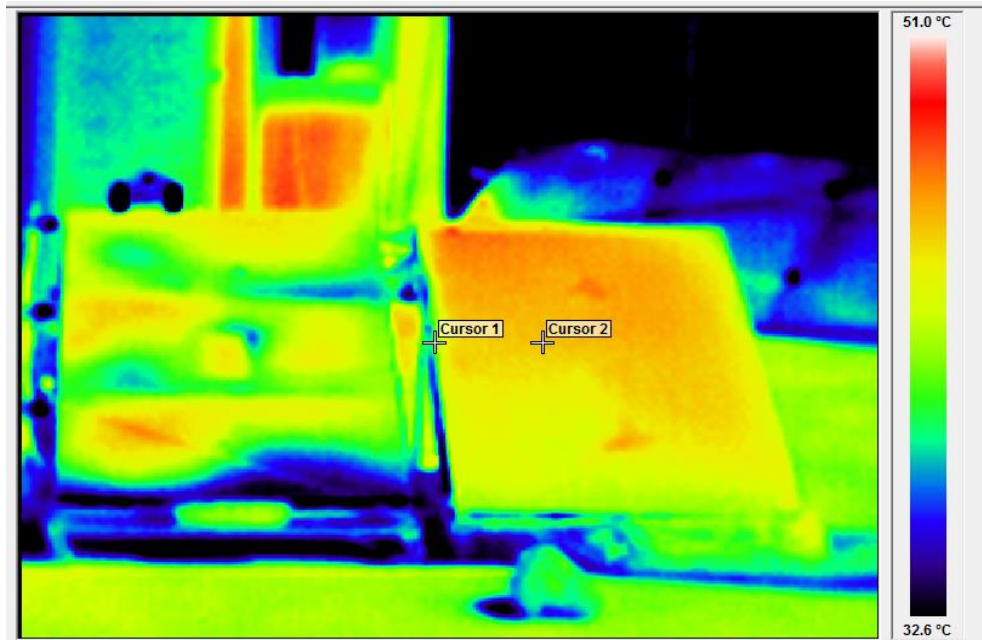
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
751	23.6	9.00	9.26	0.65	0.63	2,9

Στο διάγραμμα 27, το σημείο καμπής της καμπύλης του διαγράμματος ισχύος-τάσης για τις πρωινές ώρες, όπου ακόμα δεν έχει γίνει αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, υποδεικνύει την υπεροχή του Φ/Β με ψύξη συγκριτικά με το πλαίσιο αναφοράς. Το ίδιο φαίνεται και στον πίνακα 14, όπου η απόδοση του πλαισίου με ψύξη από ΥΑΦ ξεπερνά αυτή του αναφοράς κατά 0,26%

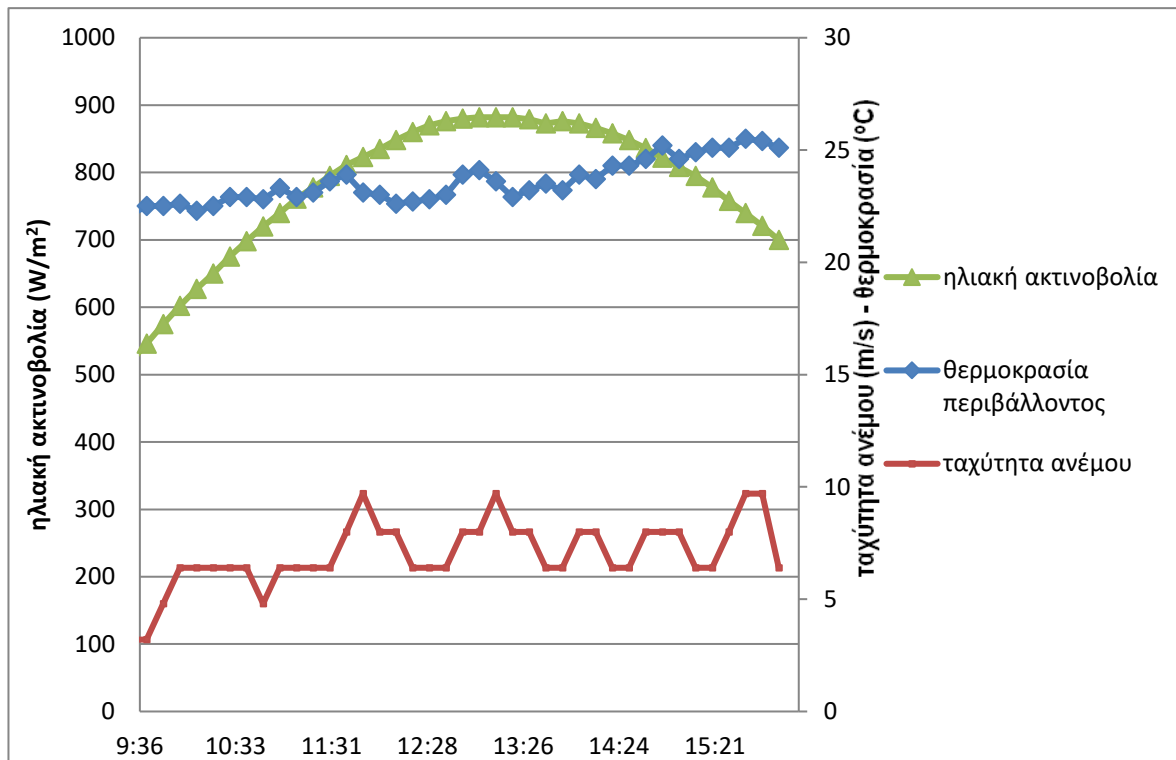
11/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

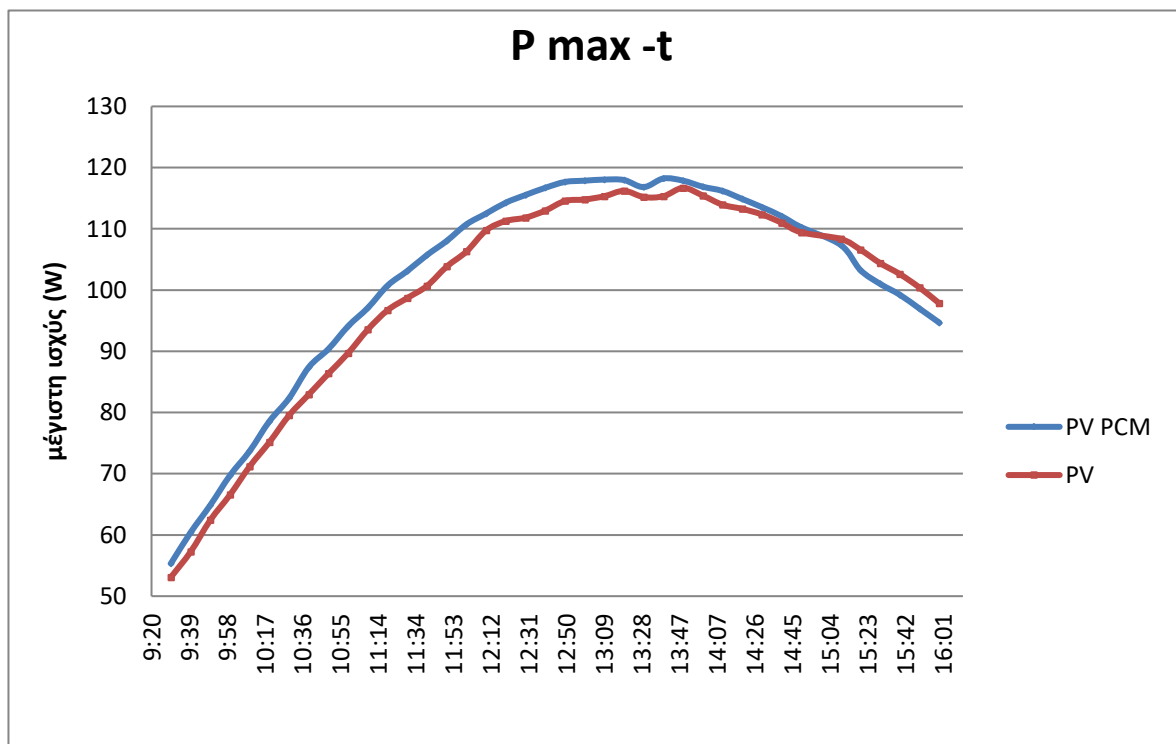
Εικόνα 18 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.10



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Η φωτογραφία υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες, καθώς η ώρα λήψης της συγκεκριμένης φωτογραφίας είναι 10.10.

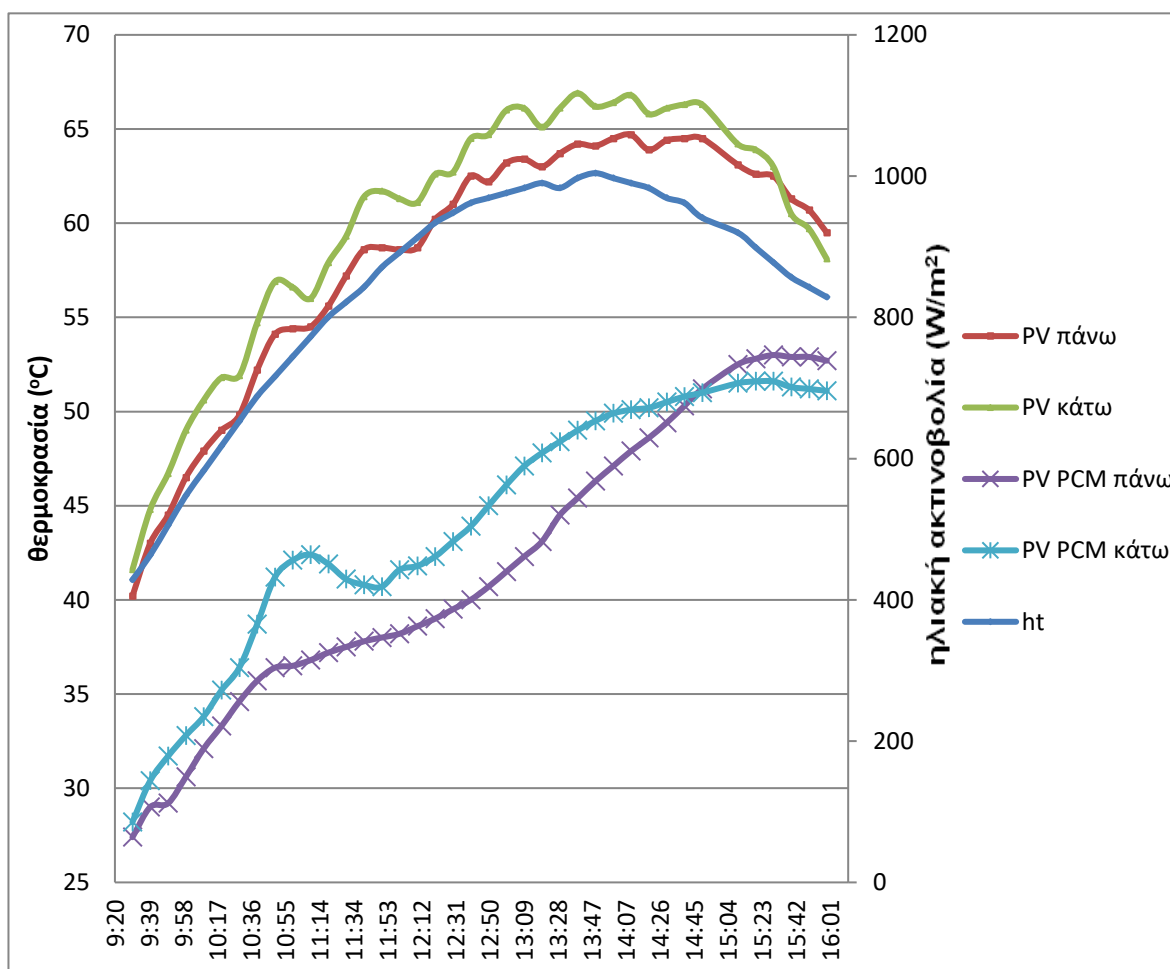


Διάγραμμα 29 καιρικές συνθήκες (11/5/2017)



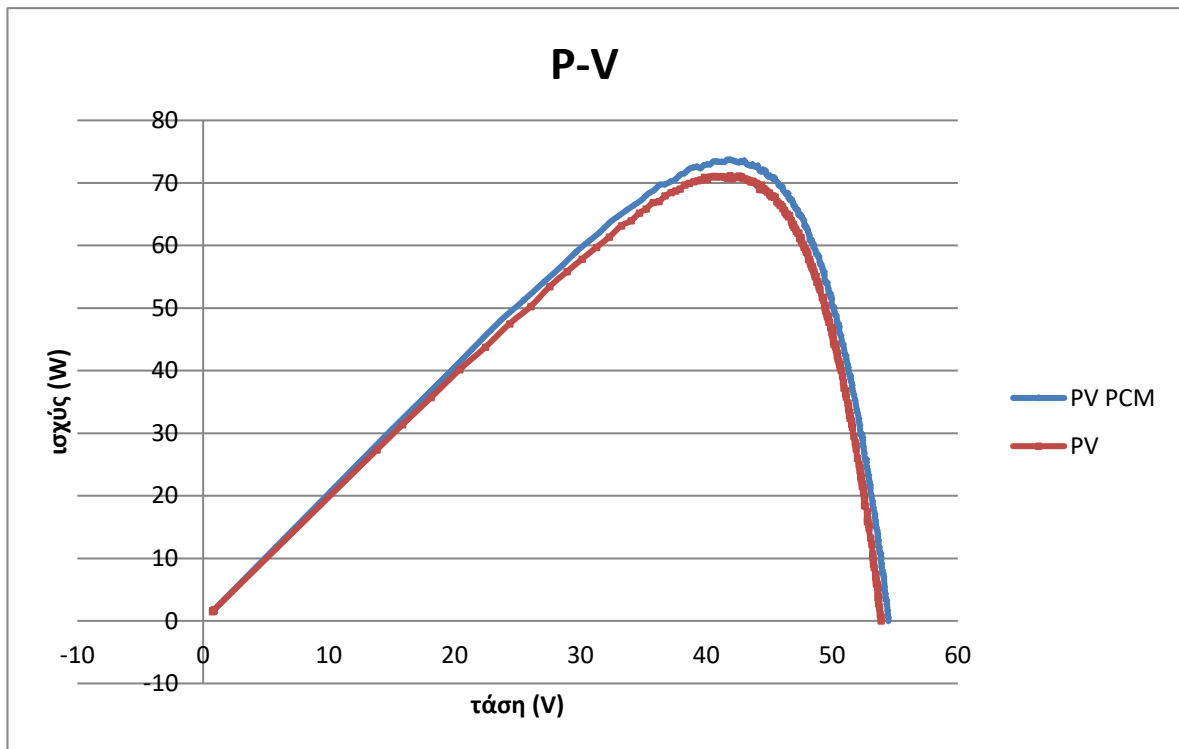
Διάγραμμα 30 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα μέγιστης ισχύος, (διάγραμμα 30) παρατηρείται η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β με ψύξη είναι αυξημένη κυρίως κατά τις πρωινές ώρες συγκριτικά με το Φ/Β αναφοράς. Κοντά στις 14.00 υπάρχει ταύτιση των δύο ισχύων. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 13.40 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 116W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 118W.

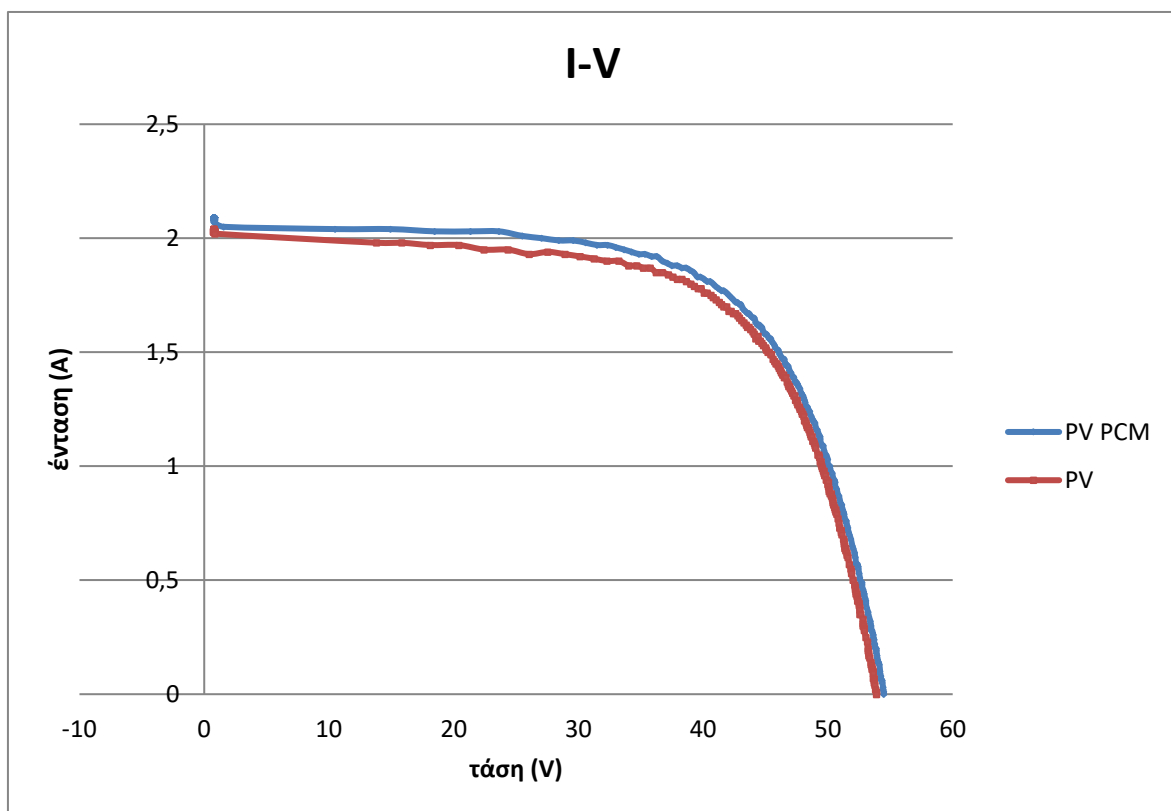


Διάγραμμα 31 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 31 των θερμοκρασιών υπάρχει διακριτή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του πλαισίου με παθητική ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μέγιστη διαφορά αγγίζει τους 20.6° C κατά τις πρωινές ώρες, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, και συγκεκριμένα στην μέτρηση των 11:40. Η διαφορά που παραμένει κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων είναι πάνω από 15° C, υποδεικνύοντας την συμβολή του ΥΑΦ στην τήρηση χαμηλής θερμοκρασίας του πλαισίου, με εξαίρεση τις ώρες 14.30-16.00 όπου η διαφορά θερμοκρασίας των δύο πλαισίων πέφτει σε μονοψήφιο νούμερο.



Διάγραμμα 32 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 10.10



Διάγραμμα 33 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.10

Πίνακας 15 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

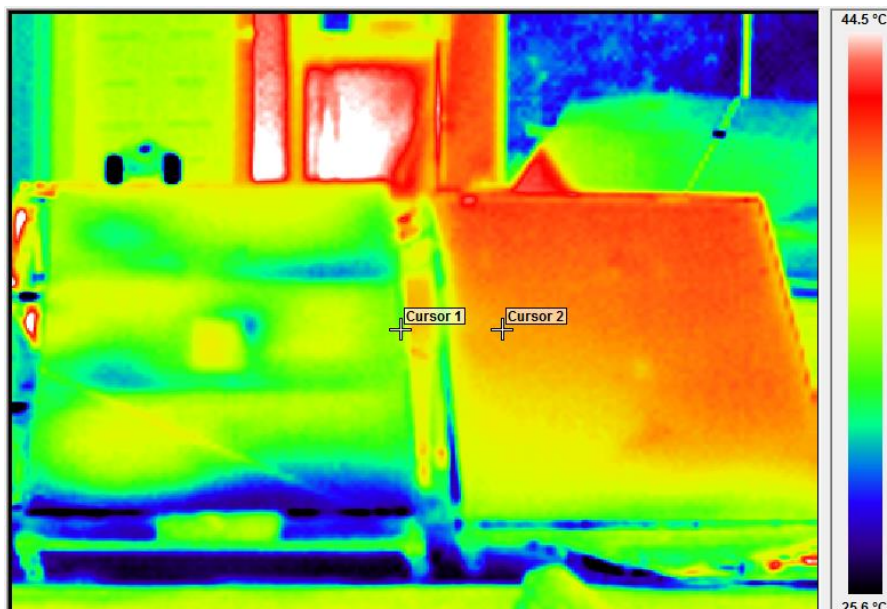
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
583	23.6	8.72	9.03	0.65	0.65	3,6

Η καλύτερη απόδοση του Φ/Β με ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτή στο διάγραμμα 32, όπου το σημείο καμπής της καμπύλης του διαγράμματος ισχύος-τάσης για το Φ/Β με ψύξη απεικονίζεται υψηλότερα από αυτό της αναφοράς. Το ίδιο συμπέρασμα περί υπεροχής μπορεί να υποστηριχθεί και από τα δεδομένα του πίνακα 15, όπου το πλαίσιο με το σύστημα ψύξης υπερέχει κατά 0,31% στην απόδοση του κατά τις πρωινές μετρήσεις συγκριτικά με το πλαίσιο αναφοράς.

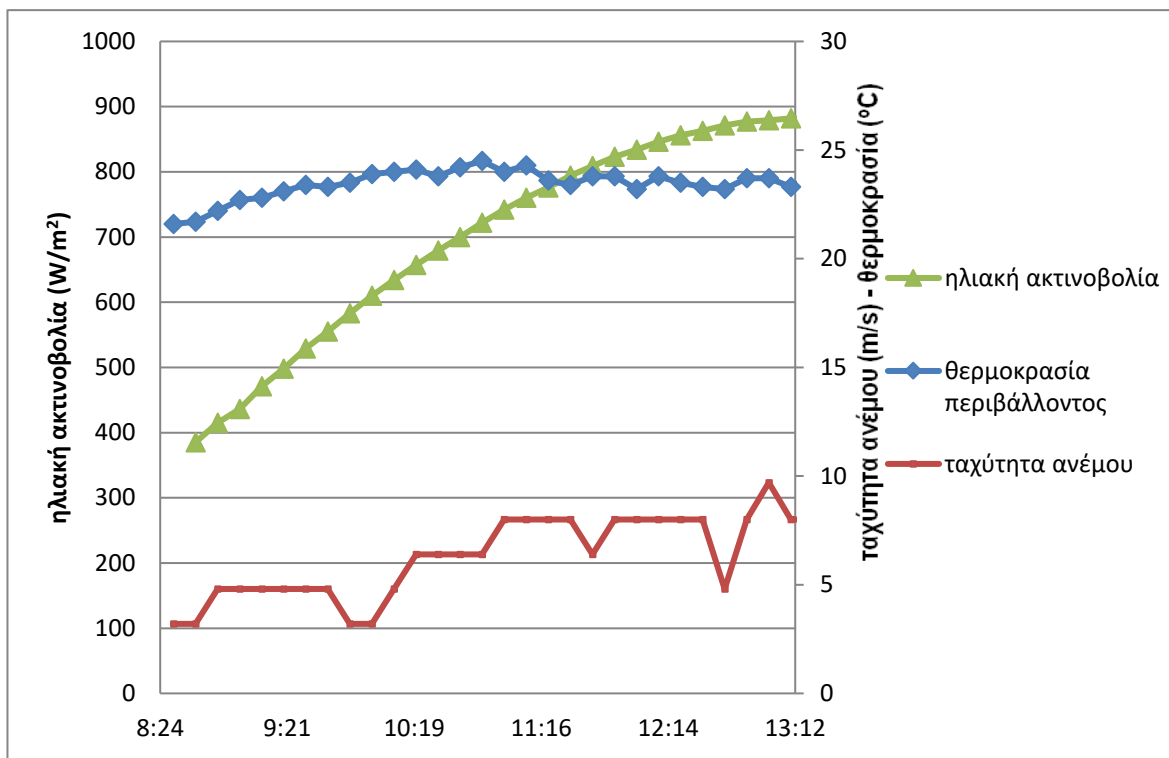
23/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος- μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

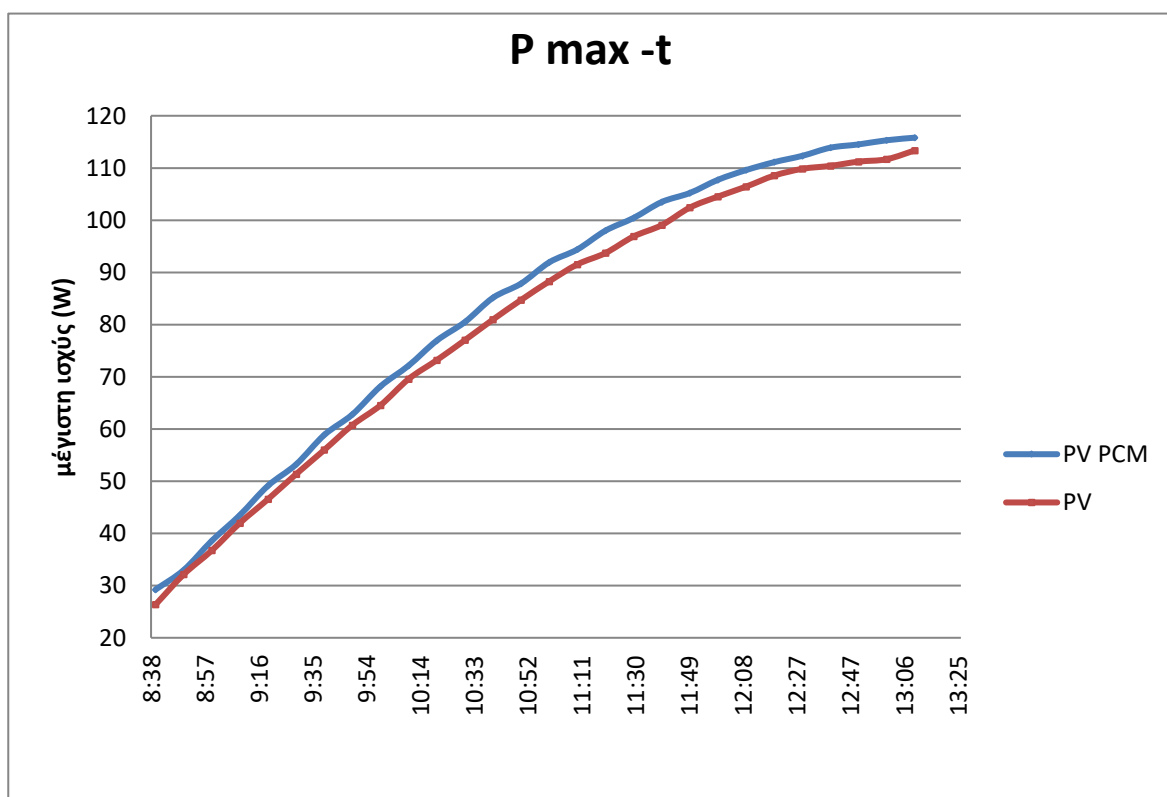
Εικόνα 19 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 9.00



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Η φωτογραφία υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες, καθώς η ώρα λήψης της συγκεκριμένης φωτογραφίας είναι 9.00.

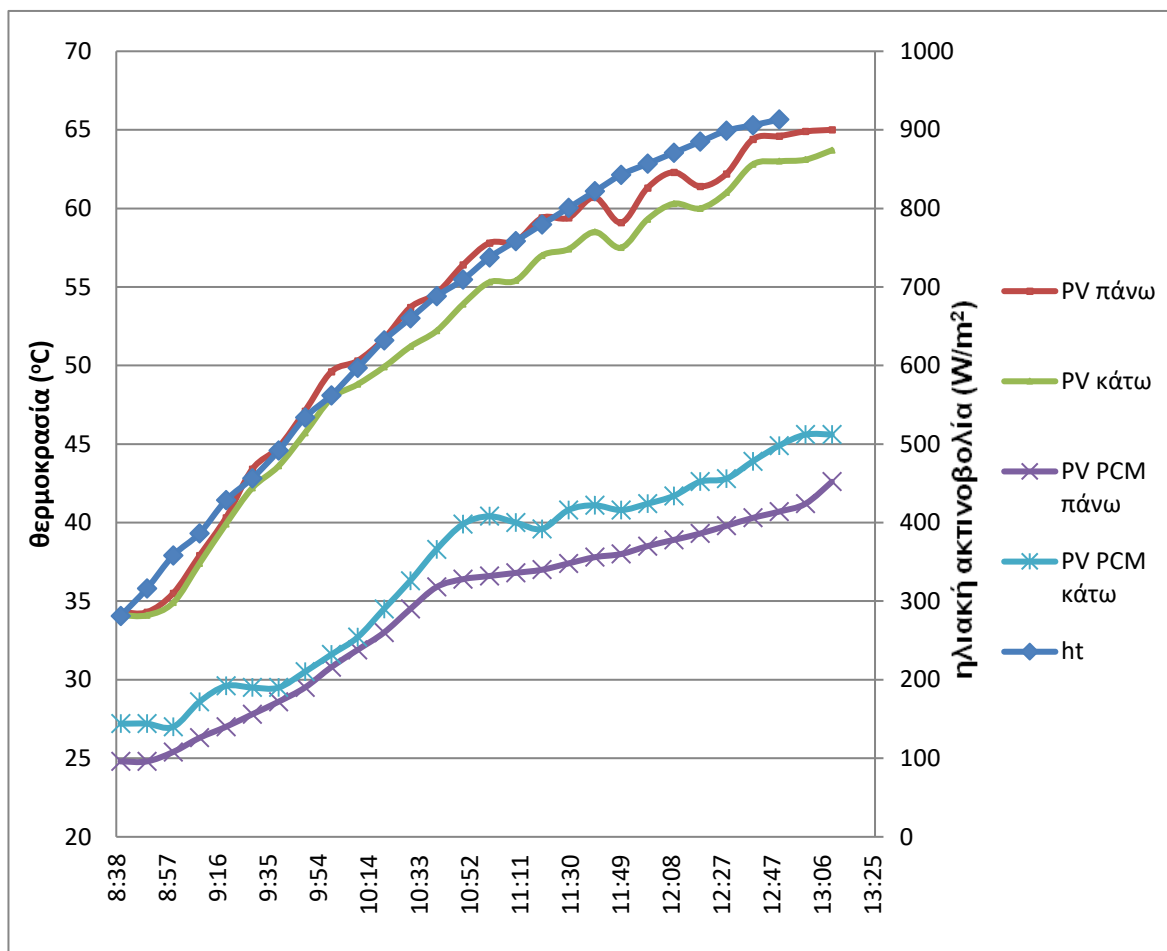


Διάγραμμα 34 καιρικές συνθήκες (23/5/2017)



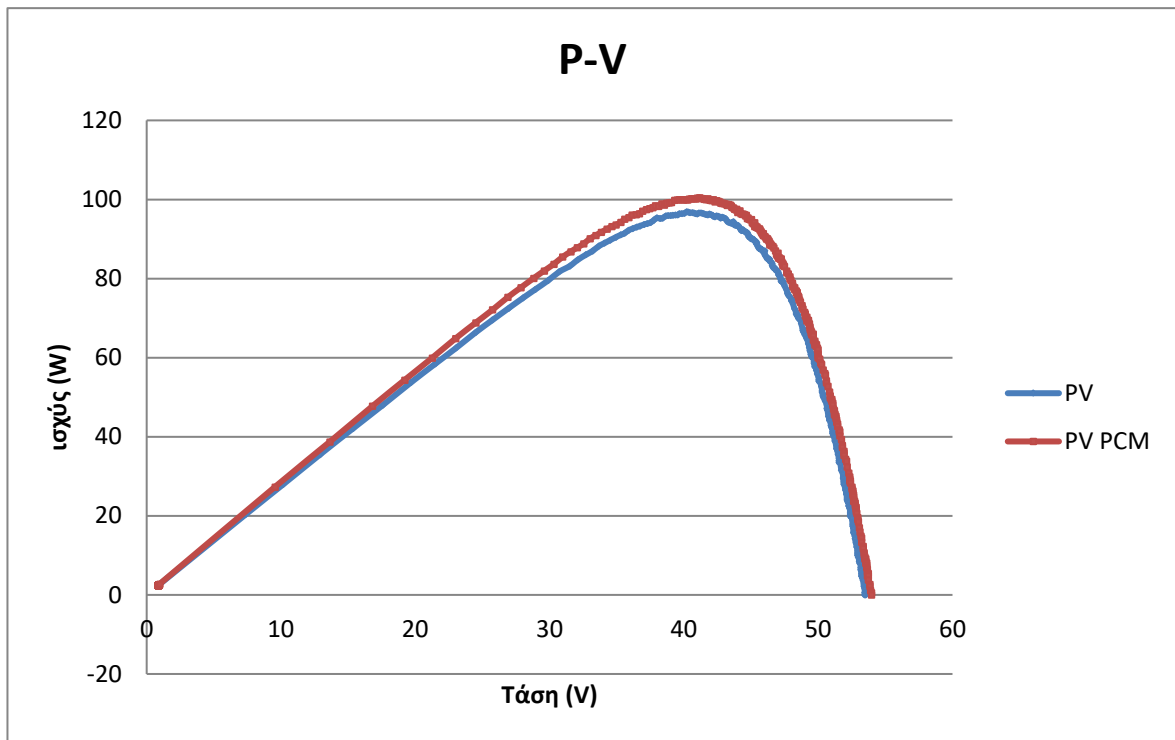
Διάγραμμα 35 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Όσον αφορά τη μέγιστη ισχύ (διάγραμμα 35), η μέγιστη απόδοση του Φ/Β με ψύξη ξεπερνάει αυτή του Φ/Β αναφοράς καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις της συγκεκριμένης μέρας σταματούν σχετικά νωρίς, στις 13.30. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 13.10 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 113W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 116W.

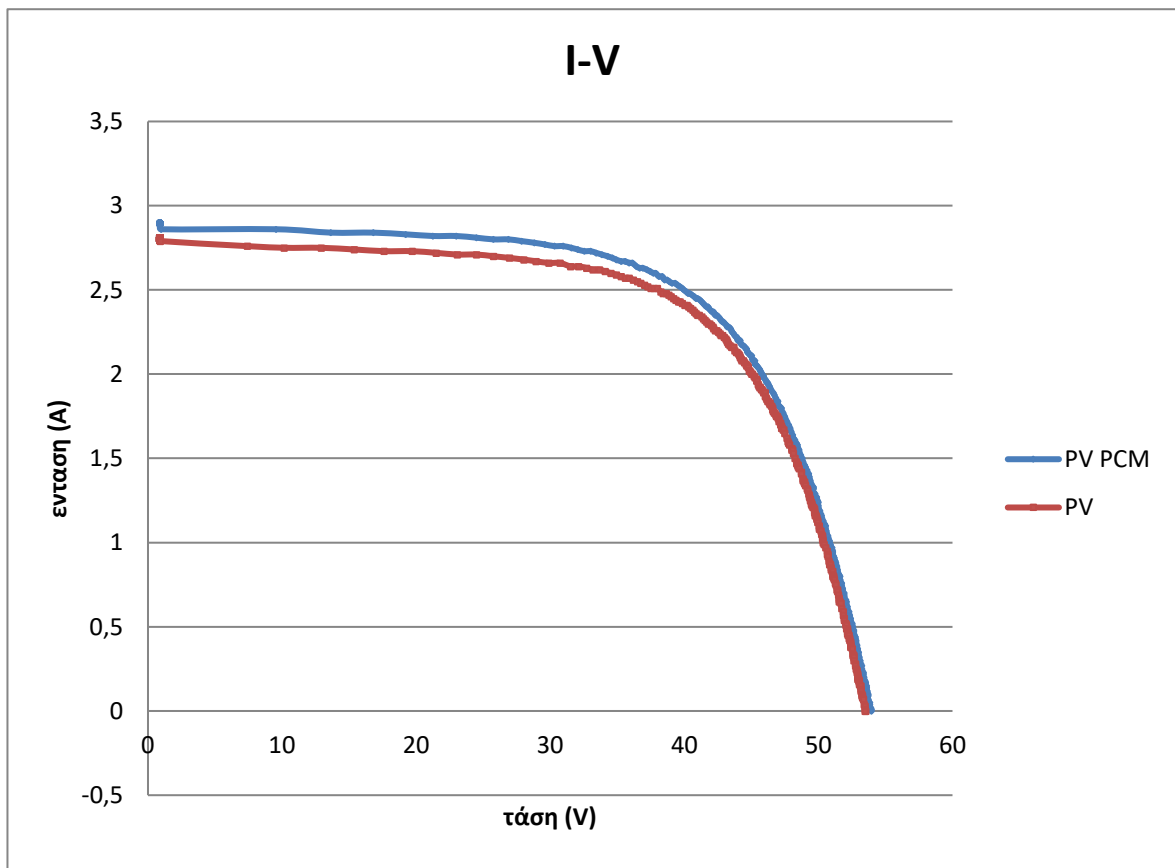


Διάγραμμα 36 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 36 των θερμοκρασιών υπάρχει διακριτή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του πλαισίου με παθητική ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μέγιστη διαφορά αγγίζει τους 20.5°C κατά τις πρωινές ώρες, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, και συγκεκριμένα στην μέτρηση των 12:40. Η διαφορά που παραμένει κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων είναι πάνω από 15°C, υποδεικνύοντας την συμβολή του ΥΑΦ στην τήρηση χαμηλής θερμοκρασίας του πλαισίου, με εξαίρεση τις πρώτες πρωινές ώρες 9.00-10.30 όπου η διαφορά είναι κοντά στους 10°C.



Διάγραμμα 37 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.30



Διάγραμμα 38 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.30

Πίνακας 16 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

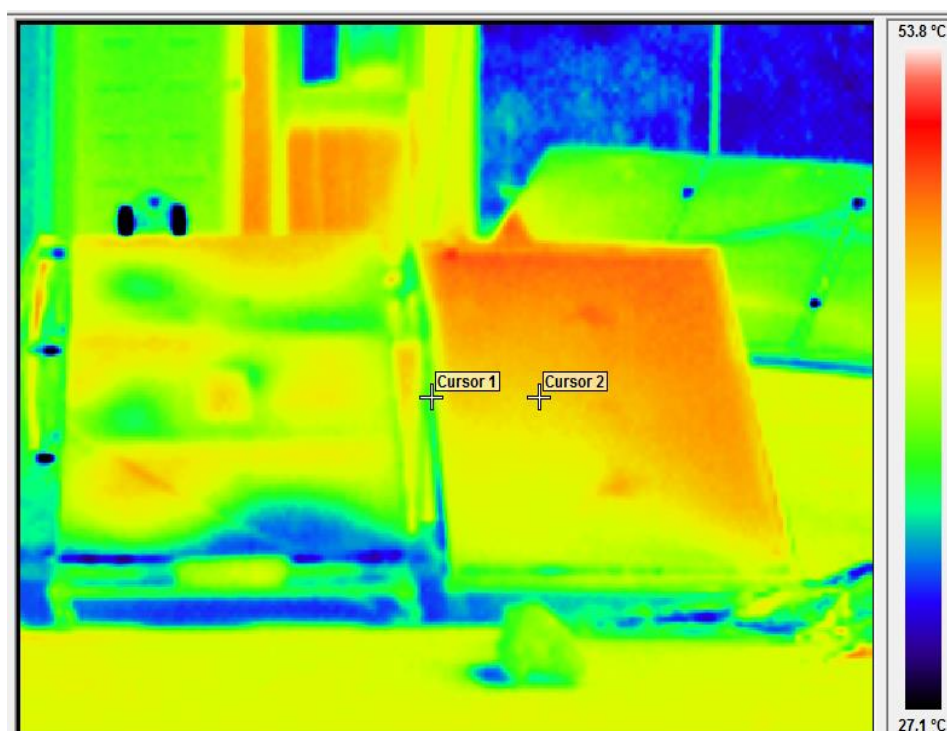
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV (%)	Απόδοση PV-PCM (%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
758	23.5	9.12	9.46	0.65	0.64	3,7

Στο διάγραμμα 37, το σημείο καμπής του διαγράμματος ισχύος-τάσης δείχνει πως το Φ/Β με ψύξη αποδίδει καλύτερα συγκριτικά με αυτό της αναφοράς. Το ίδιο ισχύει στο διάγραμμα 38, όπου πάλι γίνεται αντιληπτή η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη. Στον πίνακα 16 η διαφορά απόδοσης του πλαισίου με ψύξη συγκριτικά με το αναφοράς ανέρχεται στο 0.33%.

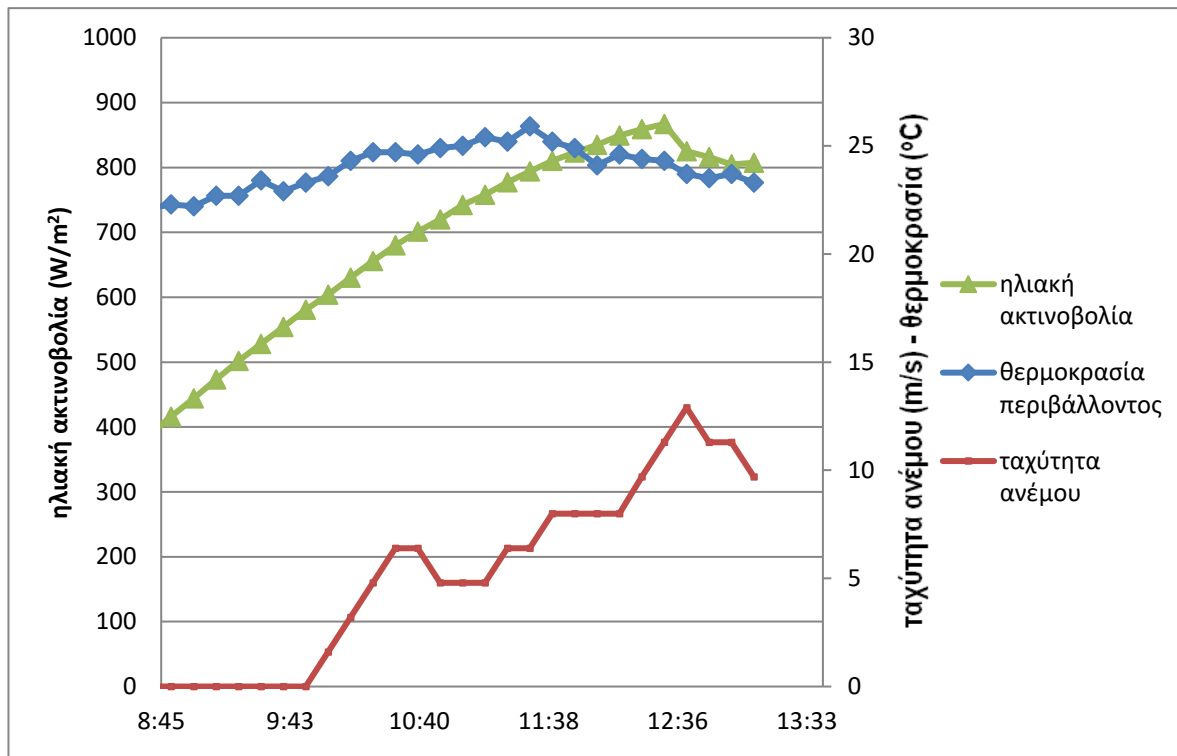
24/5/17(καιρός αίθριος, άνεμος ασθενής - μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

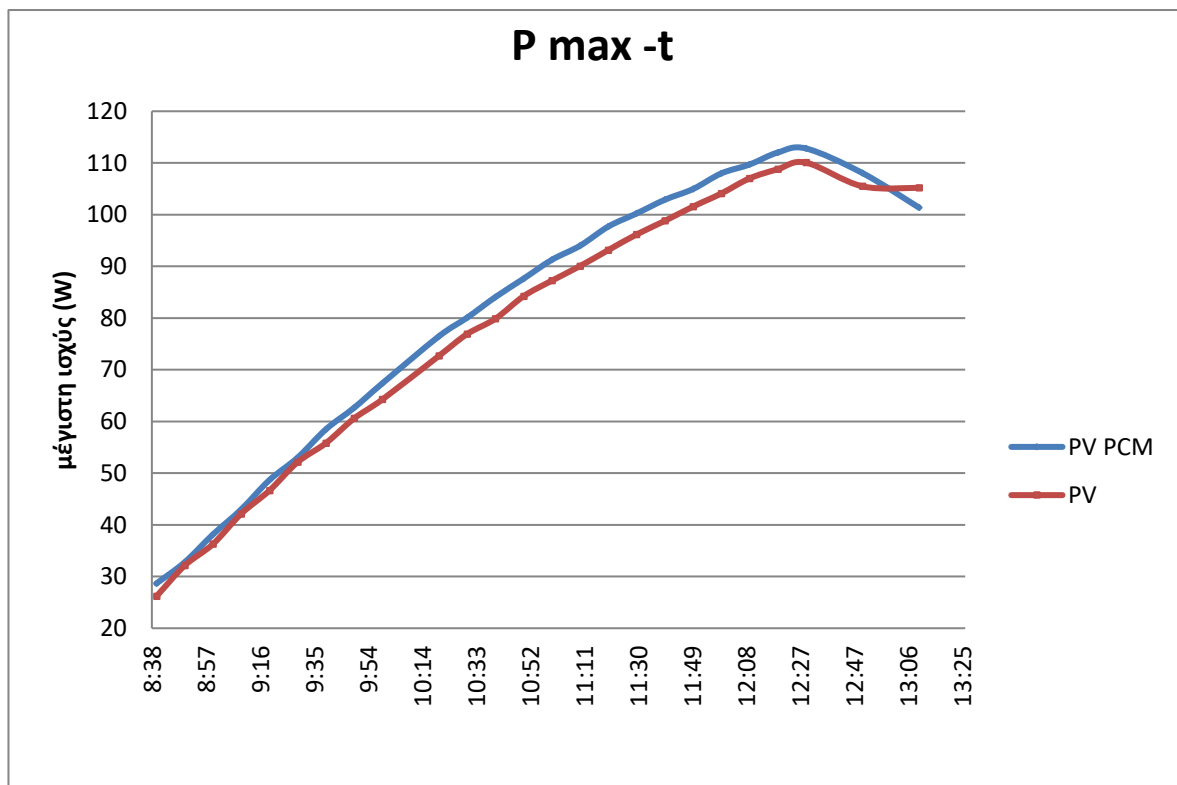
Εικόνα 20 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 10.10



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά).

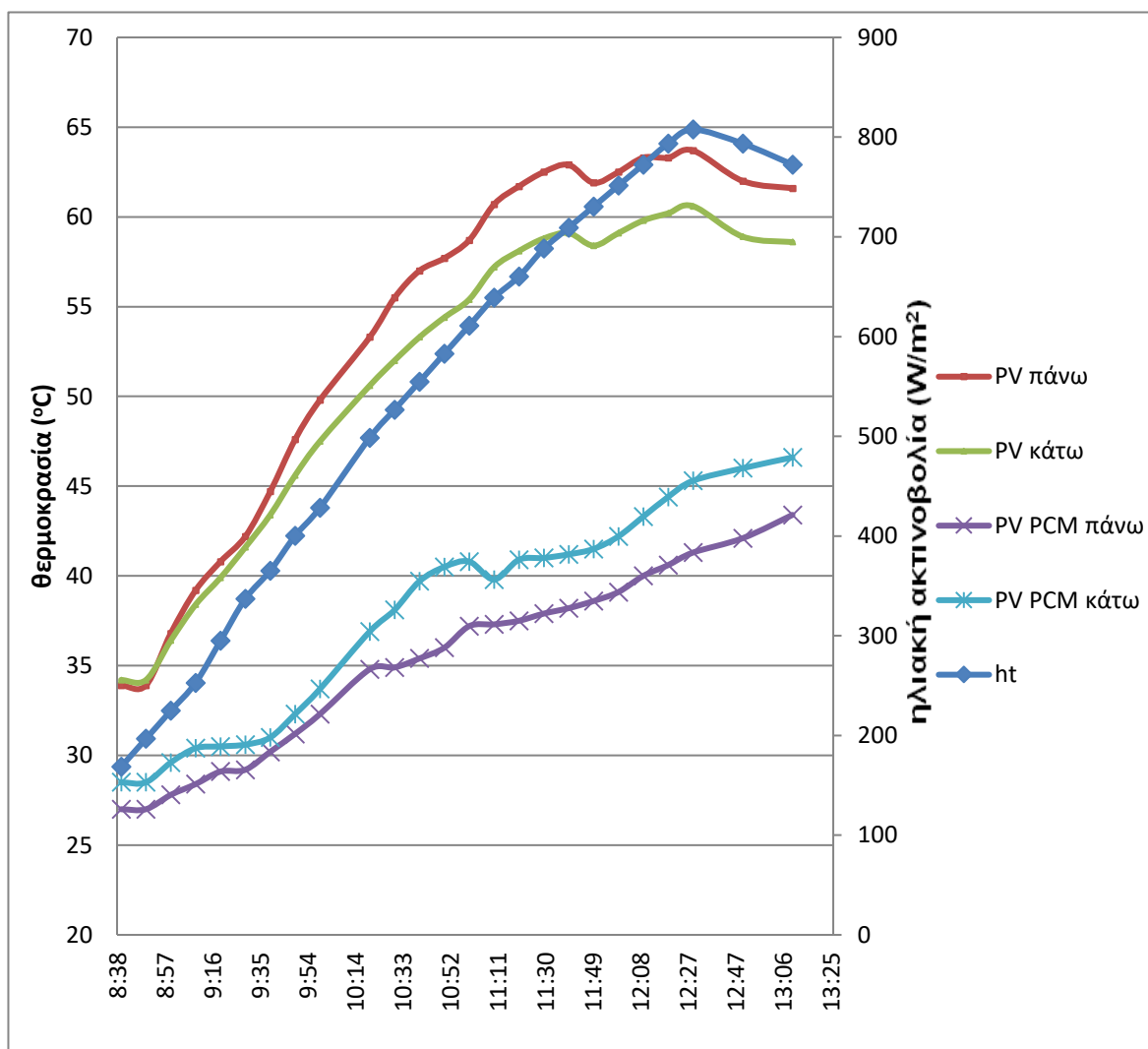


Διάγραμμα 39 καιρικές συνθήκες (24/5/2017)



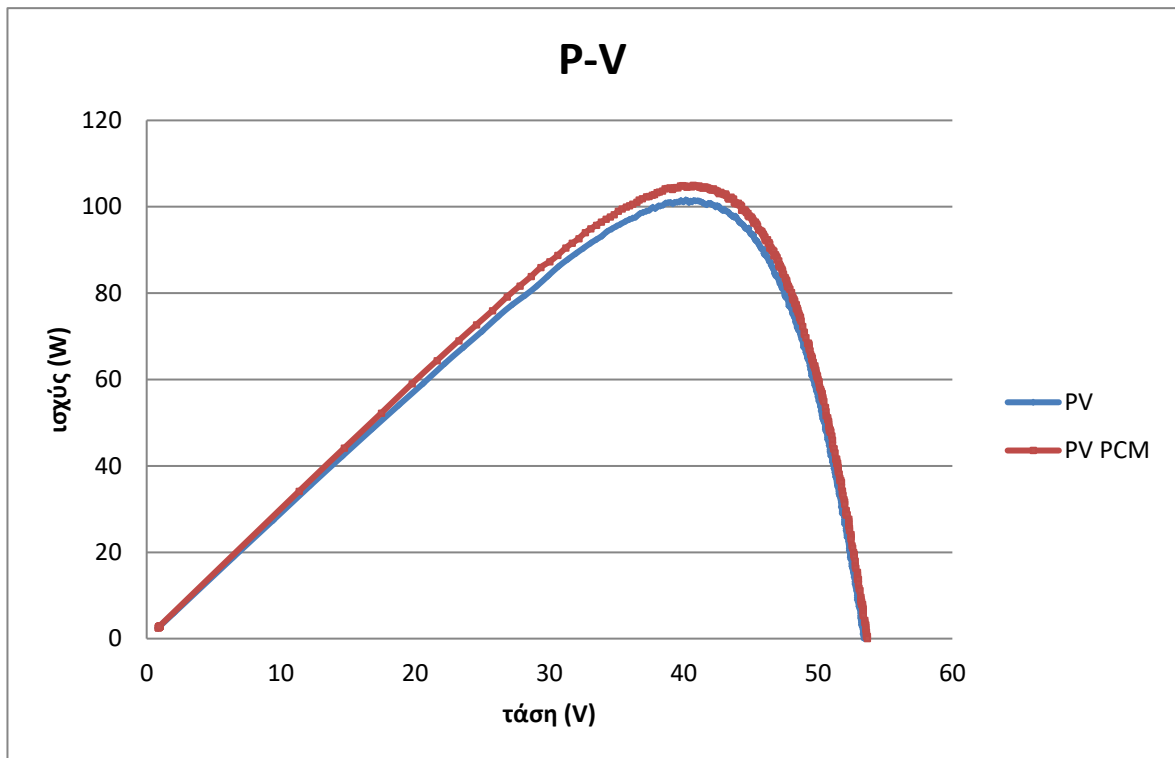
Διάγραμμα 40 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα μέγιστης ισχύος, (διάγραμμα 40) η ισχύς του Φ/Β με ψύξη είναι για τις πρωινές ώρες ελαφρώς υψηλότερη από την ισχύς του Φ/Β αναφοράς, υποδεικνύοντας πως το πλαίσιο με το ΥΑΦ είναι πιο ισχυρό. Η μέγιστη ισχύς παρουσιάζεται στη μέτρηση των 12.30 με το πλαίσιο αναφοράς να επιτυγχάνει ισχύ 110 W ενώ το πλαίσιο με ψύξη 113W.

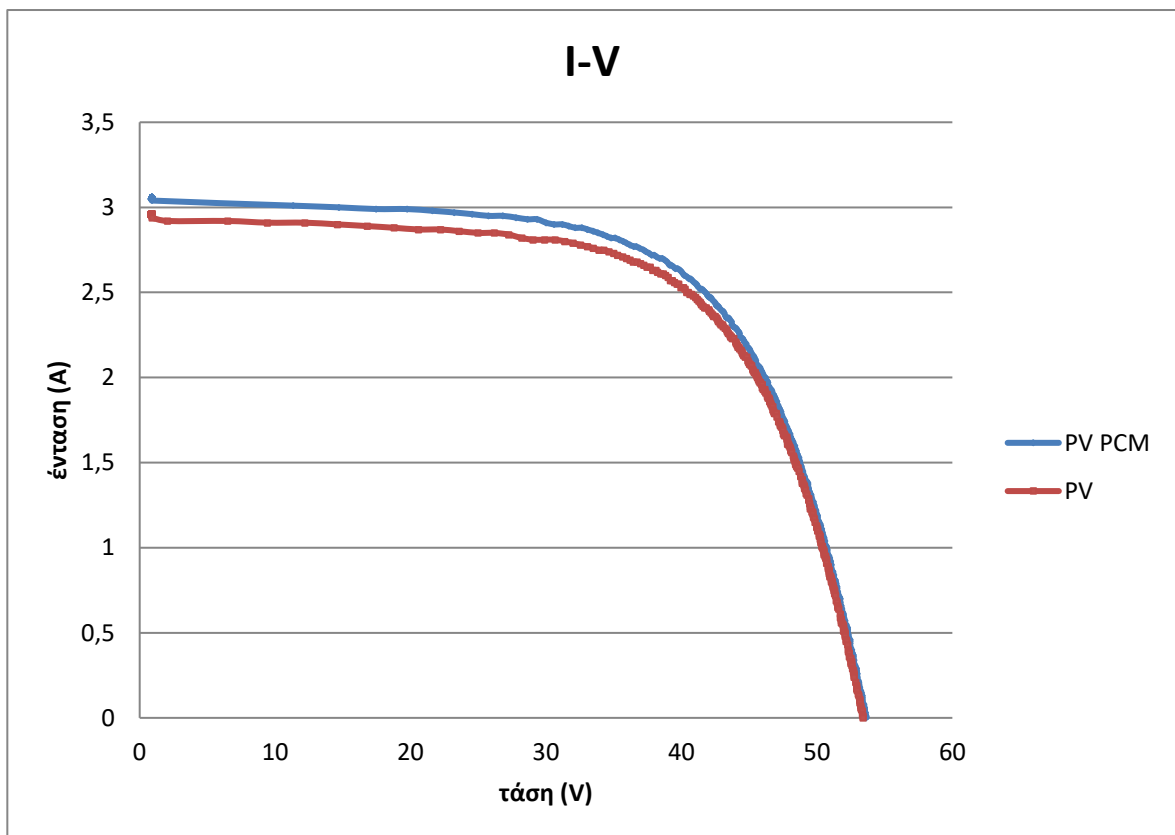


Διάγραμμα 41 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 41 των θερμοκρασιών υπάρχει διακριτή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του πλαισίου με παθητική ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μέγιστη διαφορά αγγίζει τους 22°C κατά τις πρωινές ώρες, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, και συγκεκριμένα στην μέτρηση των 11:40. Η διαφορά που παραμένει κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων είναι πάνω από 15°C, υποδεικνύοντας την συμβολή του ΥΑΦ στην τήρηση χαμηλής θερμοκρασίας του πλαισίου, με εξαίρεση τις πρώτες πρωινές μετρήσεις από τις 8.40 μέχρι τις 9.40 όπου η διαφορά είναι στους 10°C.



Διάγραμμα 42 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.50



Διάγραμμα 43 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.50

Πίνακας 17 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

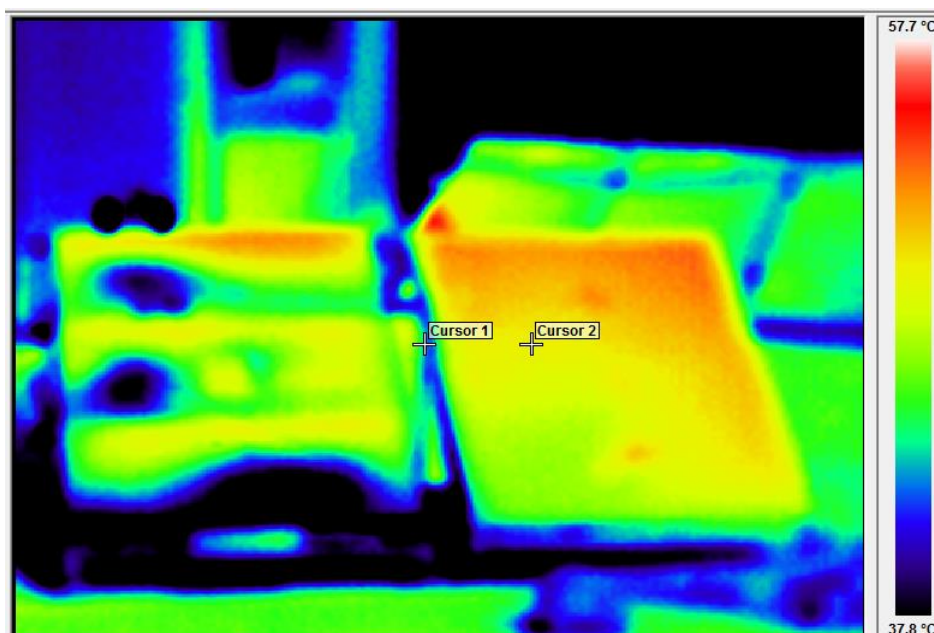
Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
730	24	8.75	9.04	0.64	0.64	3,3

Στο διάγραμμα 42, στο σημείο καμπής της καμπύλης του διαγράμματος ισχύος-τάσης αναπαρίσταται υψηλότερα για το Φ/Β με ψύξη συγκριτικά με αυτού της αναφοράς, πράγμα που υποδεικνύει καλύτερη απόδοση του πρώτου συγκριτικά με το δεύτερο. Η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη γίνεται αντιληπτή και στο διάγραμμα 43 όπου το σημείο καμπής της καμπύλης τάσης-έντασης του Φ/Β με ψύξη ξεπερνά το σημείο καμπής της καμπύλης τάσης-έντασης του Φ/Β αναφοράς. Η διαφορά σύμφωνα με τον πίνακα 17 ανάμεσα στις αποδόσεις των πλαισίων είναι 0,29% για τη μέτρηση των 11.50.

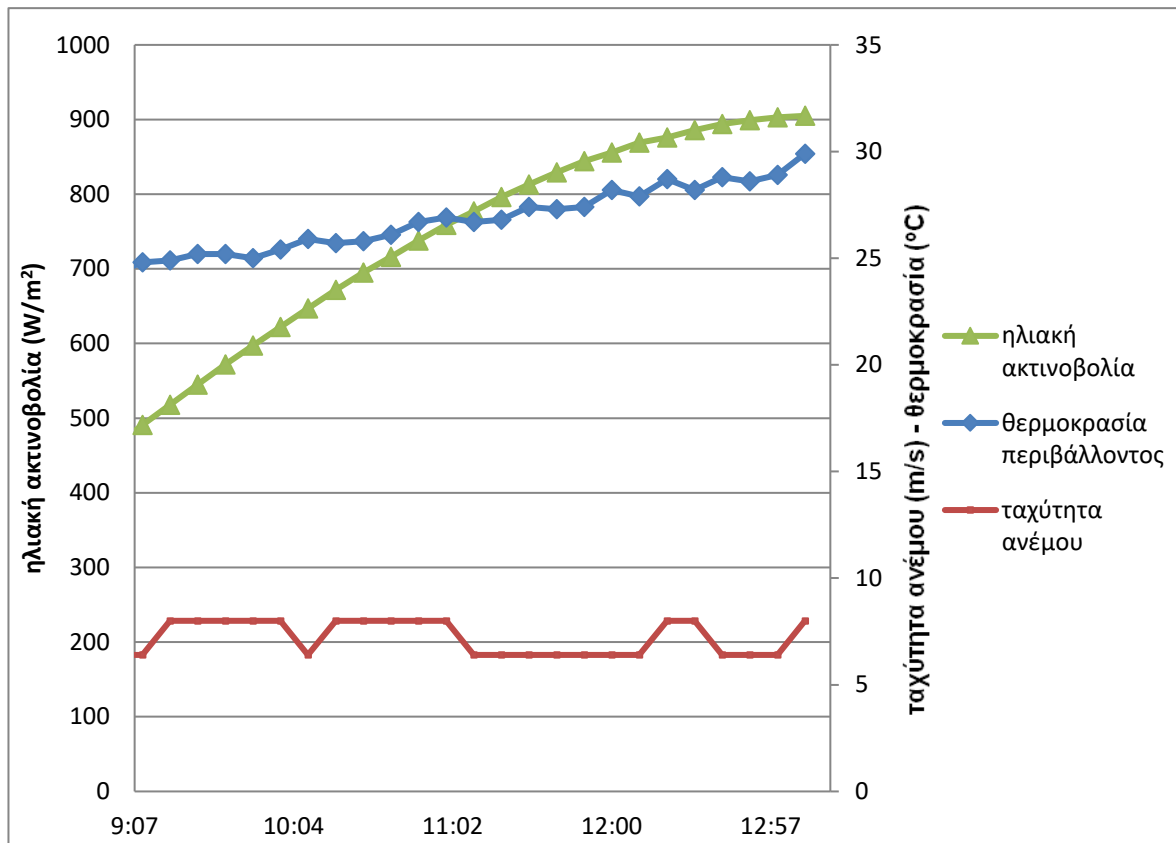
1/6/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

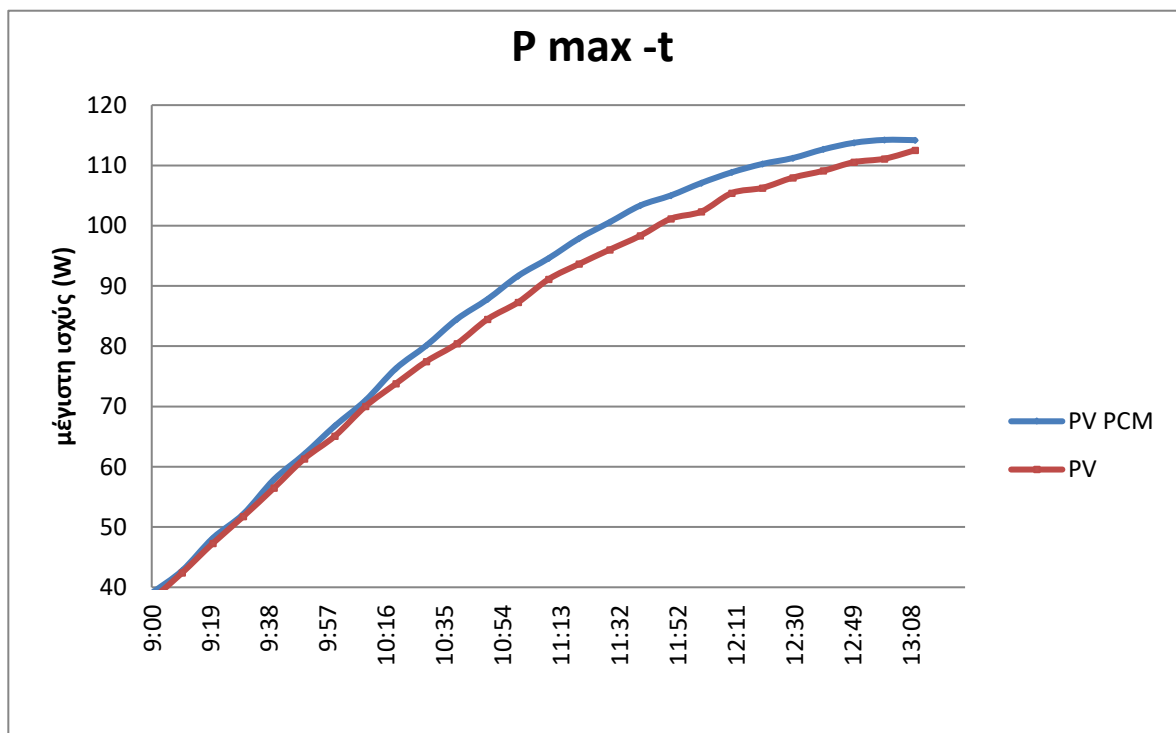
Εικόνα 21 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της πρώτης φάσης του πειράματος ώρα 11.40



Η θερμική απεικόνιση παρουσιάζει το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς (δεξιά) θερμότερο συγκριτικά με το Φ/Β με το ΥΑΦ (αριστερά). Η φωτογραφία υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ΥΑΦ κατά τις πρωινές ώρες, καθώς η ώρα λήψης της συγκεκριμένης φωτογραφίας είναι 11.40.

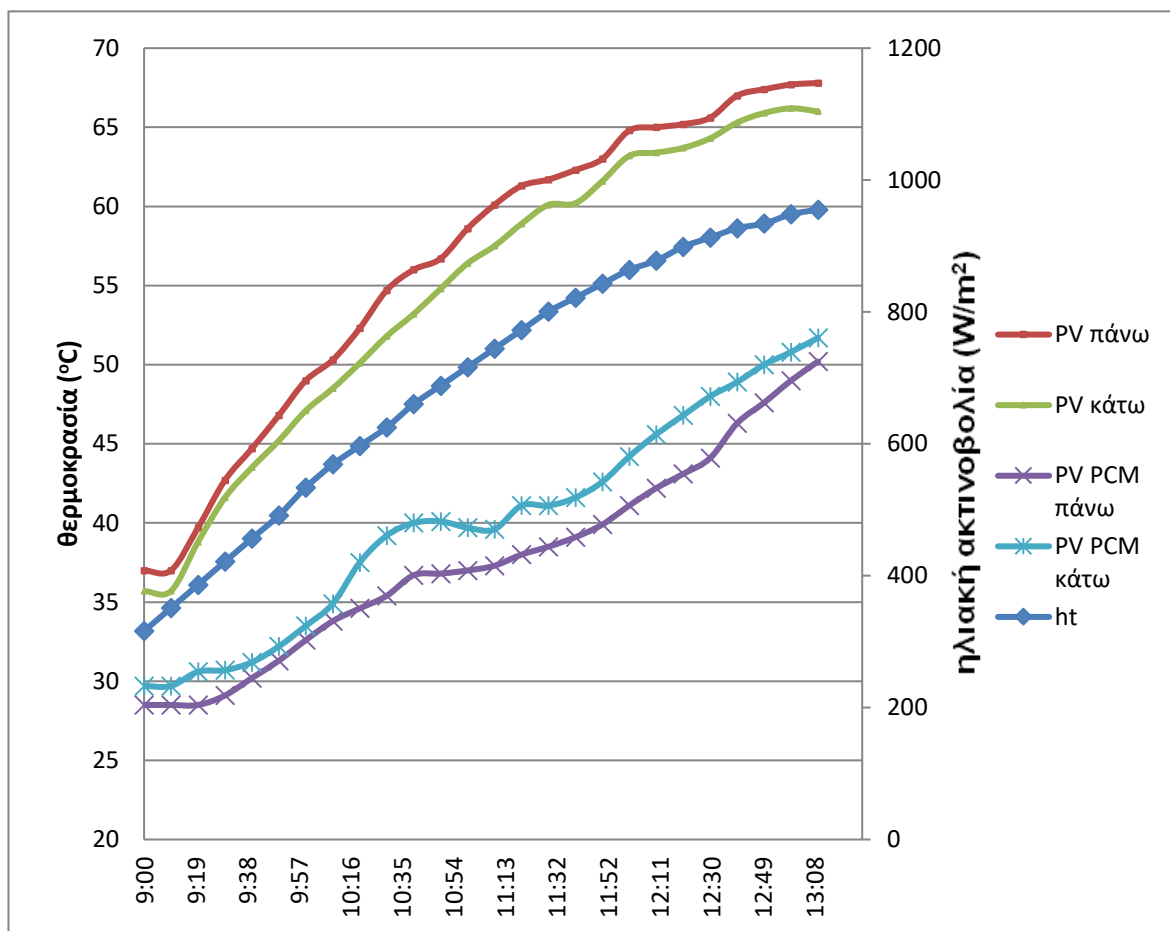


Διάγραμμα 44 καιρικές συνθήκες (1/6/2017)



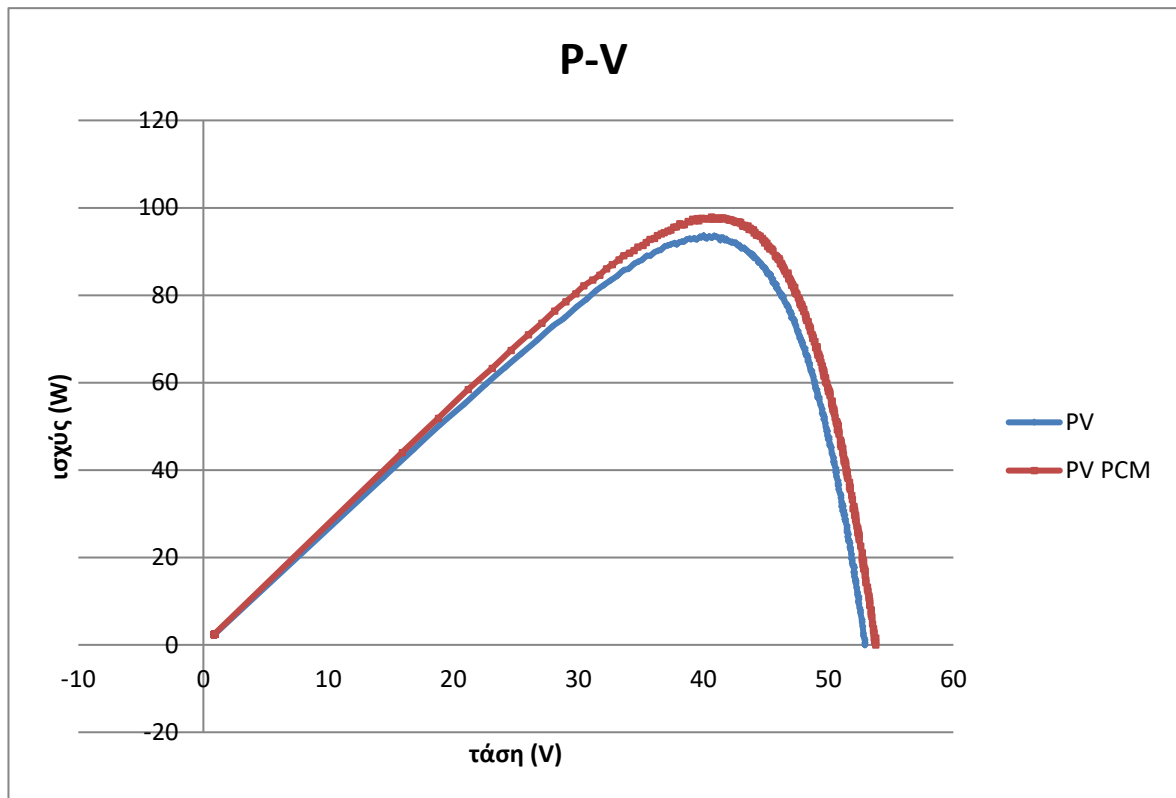
Διάγραμμα 45 μέγιστης ισχύος Φ/Β με ψύξη και αναφοράς σε σχέση με το χρόνο

Όσον αφορά τη μέγιστη ισχύ (διάγραμμα 45), η μέγιστη απόδοση του Φ/Β με ψύξη ξεπερνάει αυτή του Φ/Β αναφοράς καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις της συγκεκριμένης μέρας σταματούν σχετικά νωρίς, στις 13.30. Η μέγιστη απόδοση παρουσιάζεται στις 13.30 όπου το πλαίσιο με τη ψύξη ξεπερνά την απόδοση του πλαισίου αναφοράς κατά 2 W.

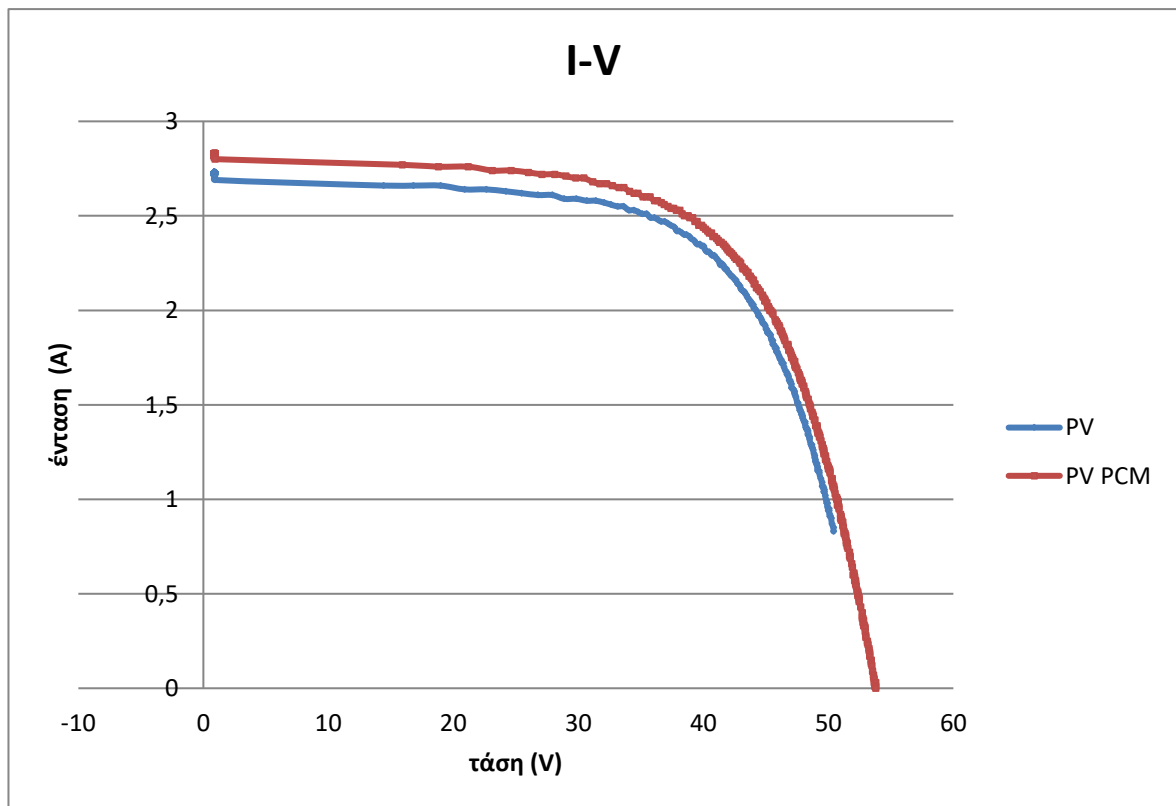


Διάγραμμα 46 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο

Στο διάγραμμα 46 των θερμοκρασιών υπάρχει διακριτή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του πλαισίου με παθητική ψύξη και σε αυτού της αναφοράς, με το πρώτο να παρουσιάζεται σαφώς ψυχρότερο. Η μέγιστη διαφορά αγγίζει τους 20.7° C κατά τις πρωινές ώρες, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ, και συγκεκριμένα στην μέτρηση των 11:40. Η διαφορά που παραμένει κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων είναι πάνω από 15°C, υποδεικνύοντας την συμβολή του ΥΑΦ στην τήρηση χαμηλής θερμοκρασίας του πλαισίου, με εξαίρεση τις πρώτες μετρήσεις των 9.00-9.30 όπου η διαφορά θερμοκρασίας είναι μονοψήφια.



Διάγραμμα 47 ισχύς – τάση για τη μέτρηση στις 11.20



Διάγραμμα 48 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 11.20

Πίνακας 18 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV(%)	Απόδοση PV- PCM(%)	Παράγων πλήρωσης FF PV	Παράγων πλήρωσης FF PV-PCM	Βελτίωση απόδοσης (%)
772	26.8	8.66	9.05	0.65	0.64	4,5

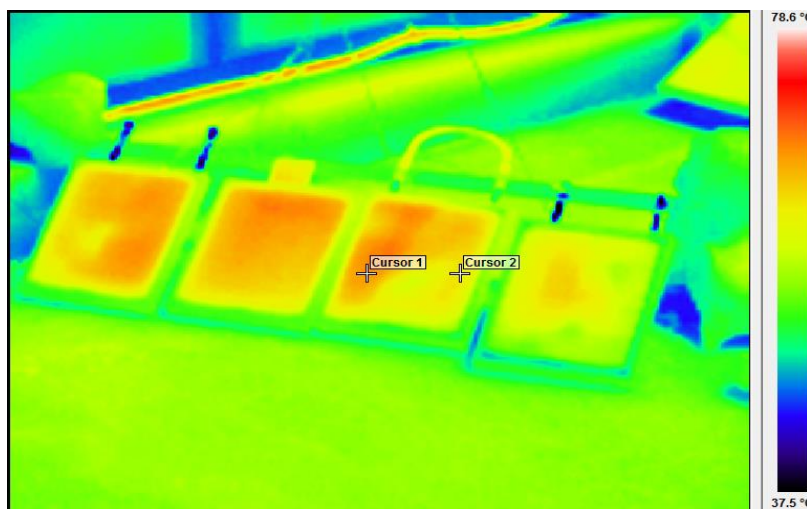
Στο διάγραμμα 47, το σημείο καμπής της καμπύλης του διαγράμματος ισχύος-τάσης βρίσκεται πιο πάνω από το αντίστοιχο της αναφοράς, γεγονός που υποδεικνύει ότι το Φ/Β με ψύξη είναι πιο ισχυρό σε σχέση με της αναφοράς κατά τις πρωινές ώρες τουλάχιστον, όπου δεν έχει συμβεί αλλαγή φάσης του ΥΑΦ. Το ίδιο παρατηρείται και στο διάγραμμα 48, όπου γίνεται αντιληπτή η υπεροχή του Φ/Β συστήματος με ψύξη. Η διαφορά σύμφωνα με τον πίνακα 18 ανάμεσα στις αποδόσεις των πλαισίων είναι 0,39% για τη μέτρηση των 11.20

5.2 Αποτελέσματα 2ης Φάσης πειράματος

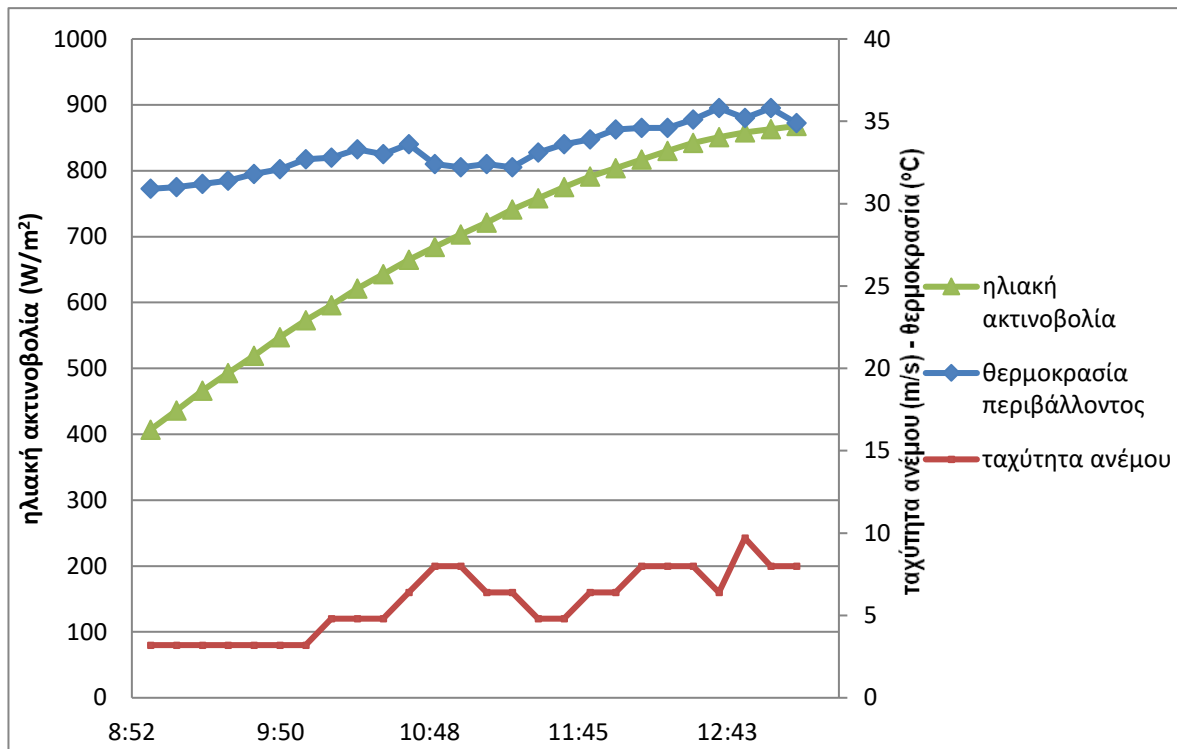
12/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος ασθενής- σχεδόν μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

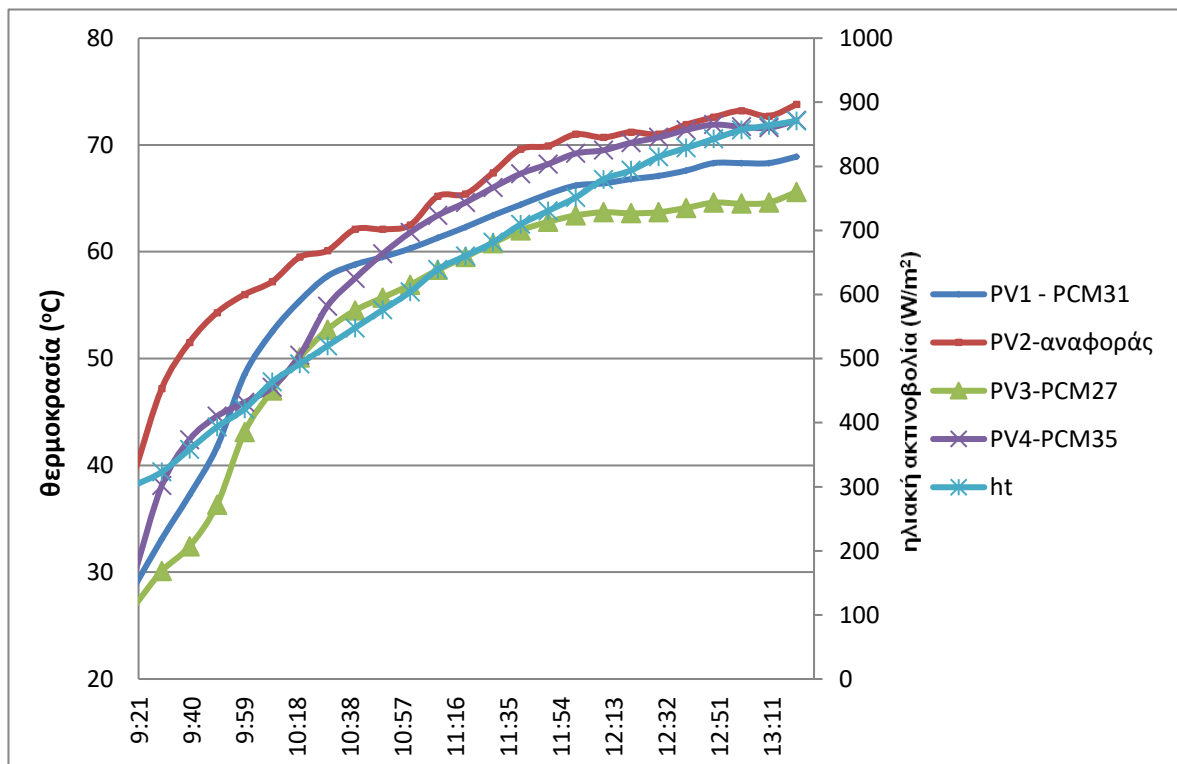
Εικόνα 22 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 12.00



Η θερμική απεικόνιση μπορεί να βοηθήσει στην εξαγωγή μερικών εικασιών, οι οποίες επαληθεύονται μετέπειτα, στο διάγραμμα των απεικόνισης των θερμοκρασιών (διάγραμμα 40). Αρχικά, το πλαίσιο με το PCMRT35, δηλαδή το πρώτο από δεξιά παρουσιάζεται ψυχρότερο όλων. Έπειτα, το 2^ο από αριστερά φαίνεται πως έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία, το οποίο αποτελεί το πλαίσιο αναφοράς.

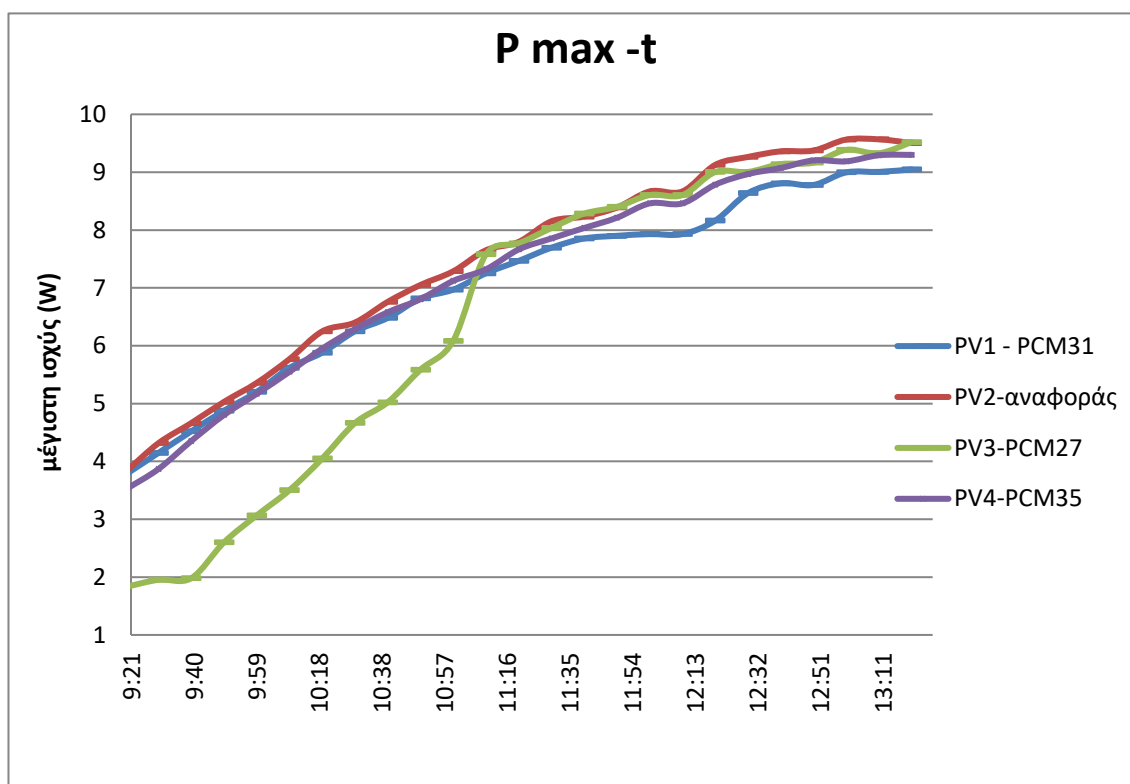


Διάγραμμα 49 καιρικές συνθήκες (12/7/2017)



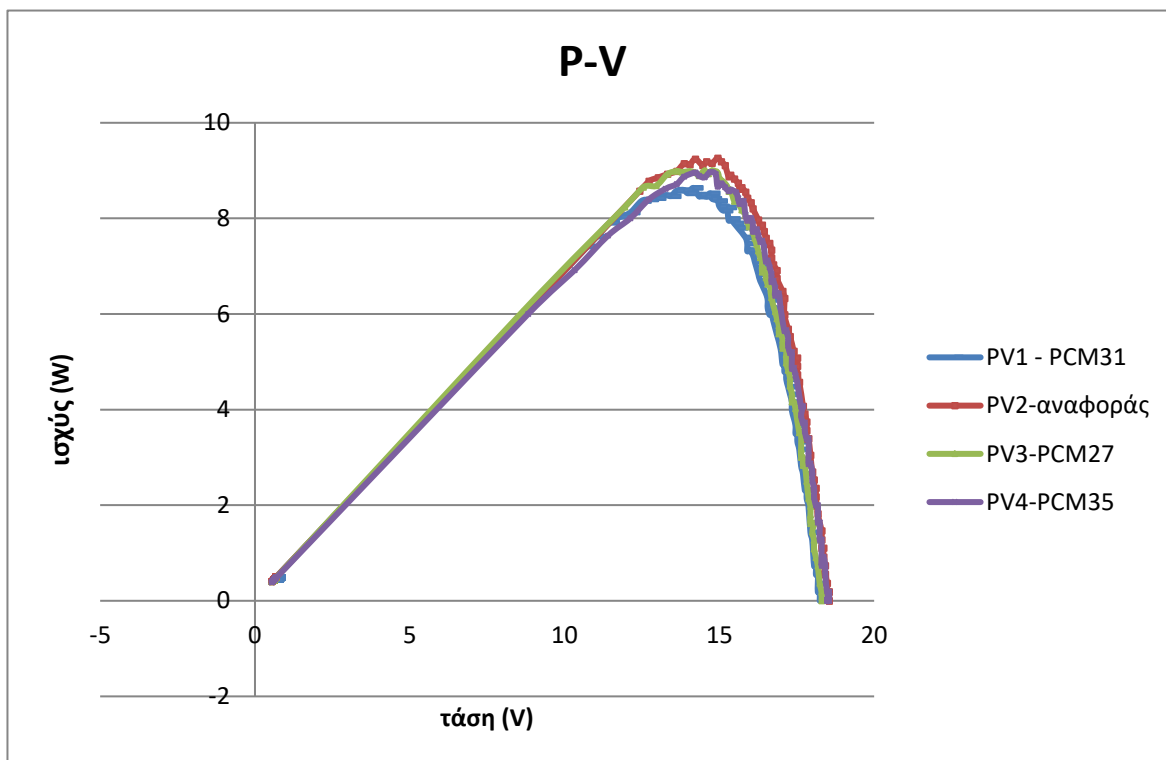
Διάγραμμα 50 θερμοκρασία - ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για κάθε πλαίσιο

Στο διάγραμμα 50, όπου αναπαρίστανται οι θερμοκρασίες των Φ/Β, παρατηρείται πως το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς είναι το θερμότερο συγκριτικά με τα λοιπά Φ/Β πλαίσια με το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης, παρατήρηση που επαληθεύεται και από τη λήψη της θερμοκάμερας (εικόνα 22). Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα πλαίσια με το ΥΑΦ και σε αυτού της αναφοράς, ήταν αυτή του 3^{ου} πλαισίου με της αναφοράς, η οποία προσέγγιζε τους 19°C και παρατηρείται τις πρωινές ώρες, και πιο συγκεκριμένα στη μέτρηση των 9:40. Το τρίτο πλαίσιο είχε σύστημα ψύξης πληρωμένο με το PCMRT27, δηλαδή το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε και στην πρώτη φάση του πειράματος. Η μέγιστη διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στη θερμοκρασία του πρώτου πλαισίου (PCMRT31) και σε αυτή του πλαισίου αναφοράς ήταν 14,3°C στη μέτρηση των 9.40. Όσον αφορά το τέταρτο πλαίσιο (PCMRT35) και τη μέγιστη θερμοκρασιακή του διαφορά με το πλαίσιο αναφοράς, ήταν 10,1°C και παρατηρήθηκε στη μέτρηση των 10:10.

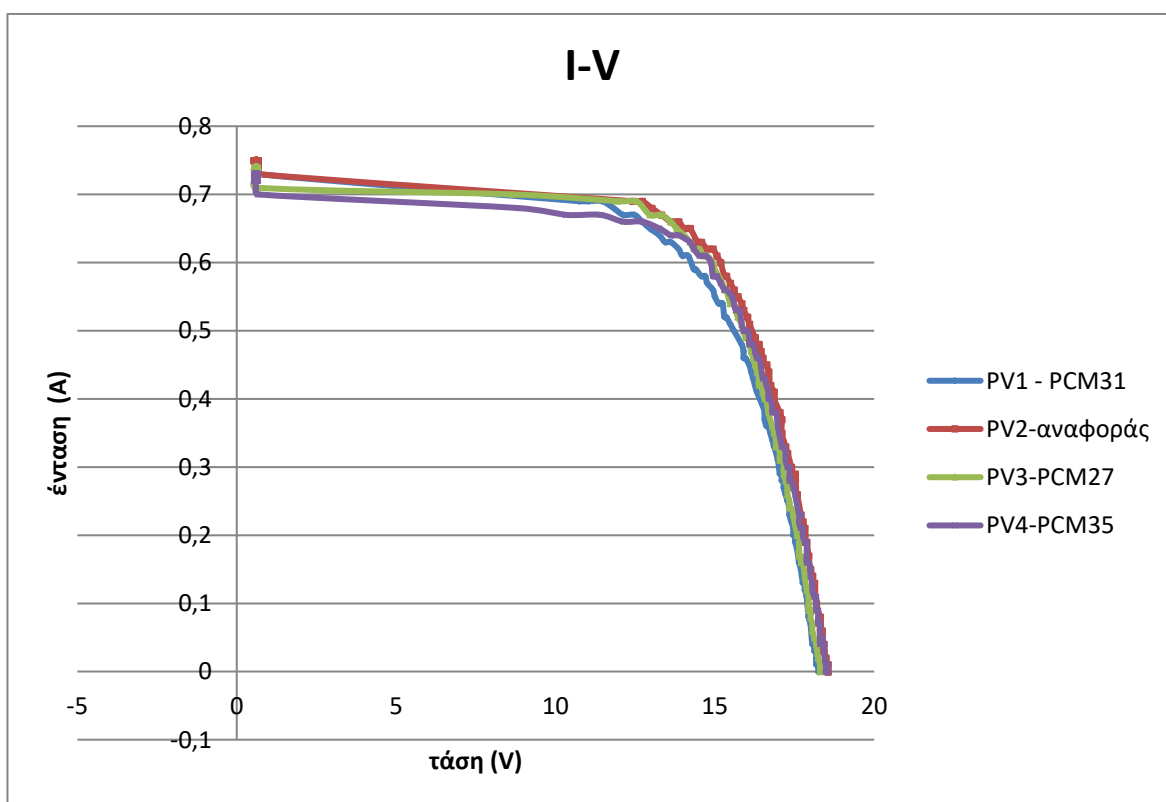


Διάγραμμα 51 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Το διάγραμμα μέγιστης ισχύος σε σχέση με το χρόνο (διάγραμμα 51) παρουσιάζει το πλαίσιο αναφοράς πιο ισχυρό συγκριτικά με τα υπόλοιπα πλαίσια καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Το 3^ο πλαίσιο παρουσιάζει μικρή ισχύ κατά τις πρωινές ώρες, λόγω πιθανής σκίασης.



Διάγραμμα 52 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 12.30



Διάγραμμα 53 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.30

Πίνακας 19 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

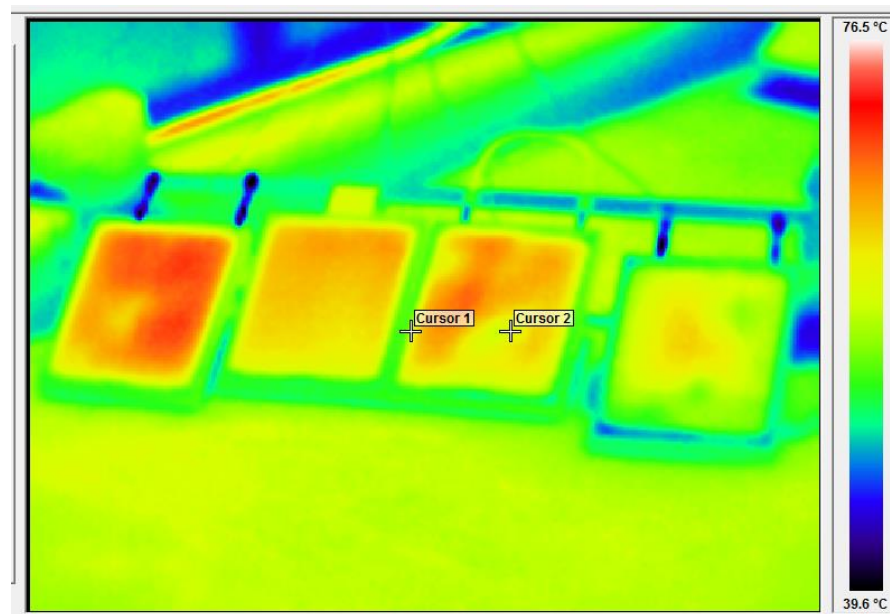
Ακτινοβολία h_t (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV2 (%)	Απόδοση PV1- PCM31 (%)	Απόδοση PV3- PCM27 (%)	Απόδοση PV4- PCM35 (%)
815	33.5	11	10,25	10.69	10.65
		Παράγων πλήρωσης FF2	Παράγων πλήρωσης FF1 PV1- PCM31	Παράγων πλήρωσης FF3 PV3- PCM27	Παράγων πλήρωσης FF4 PV4- PCM35
		0.67	0.64	0.67	0.66

Στα διαγράμματα 52 και 53, το σημείο καμπής του διαγράμματος ισχύος-τάσης και τάσης- έντασης μας υποδεικνύουν ότι και το διάγραμμα μέγιστων αποδόσεων, δηλαδή υπεροχή του Φ/Β αναφοράς. Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και από τον πίνακα 19, όπου το πλαίσιο αναφοράς παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με τα υπόλοιπα πλαίσια.

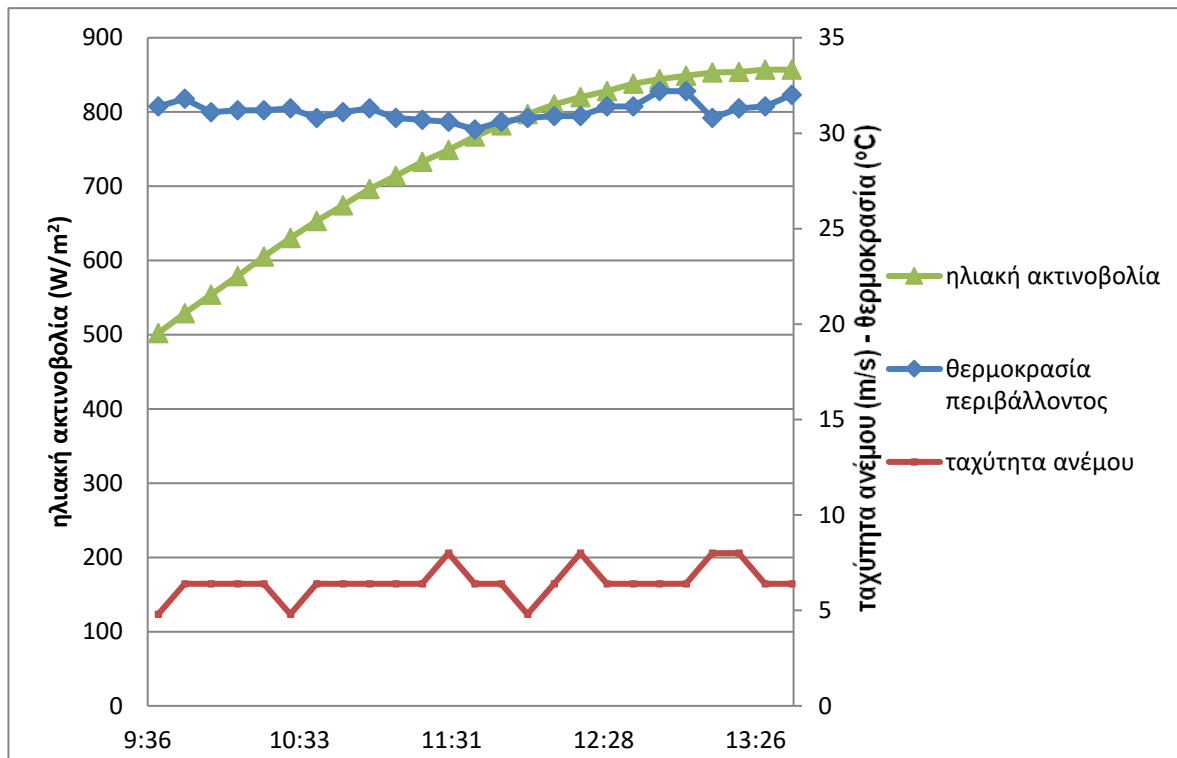
13/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος σχεδόν μέτριος-μέτριος)

Θερμική απεικόνιση

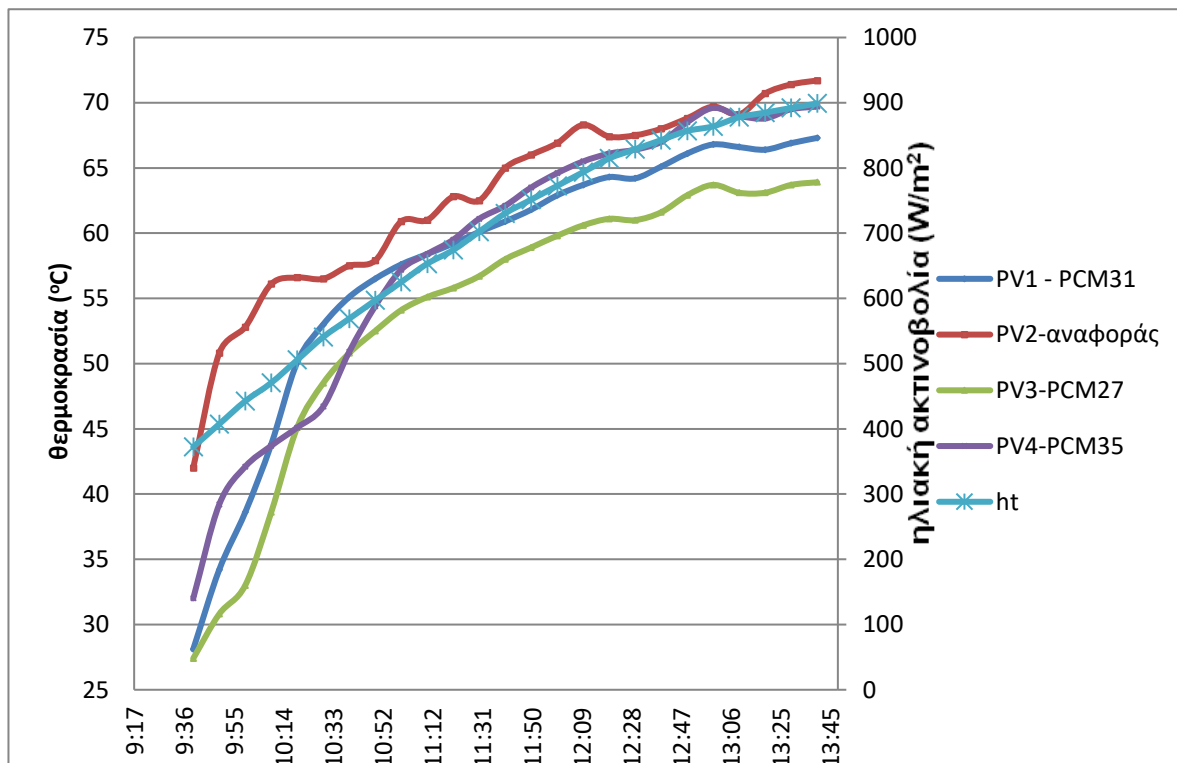
Εικόνα 23 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 12.00



Το πλαίσιο με το PCMR35, δηλαδή το πρώτο από δεξιά παρουσιάζεται ψυχρότερο όλων. Έπειτα, το 1^ο από αριστερά φαίνεται πως έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία, το οποίο αποτελεί το πλαίσιο με το PCM-RT 31. Το πλαίσιο αναφοράς (δεύτερο από αριστερά) παρουσιάζεται σαν το δεύτερο ψυχρότερο πλαίσιο.

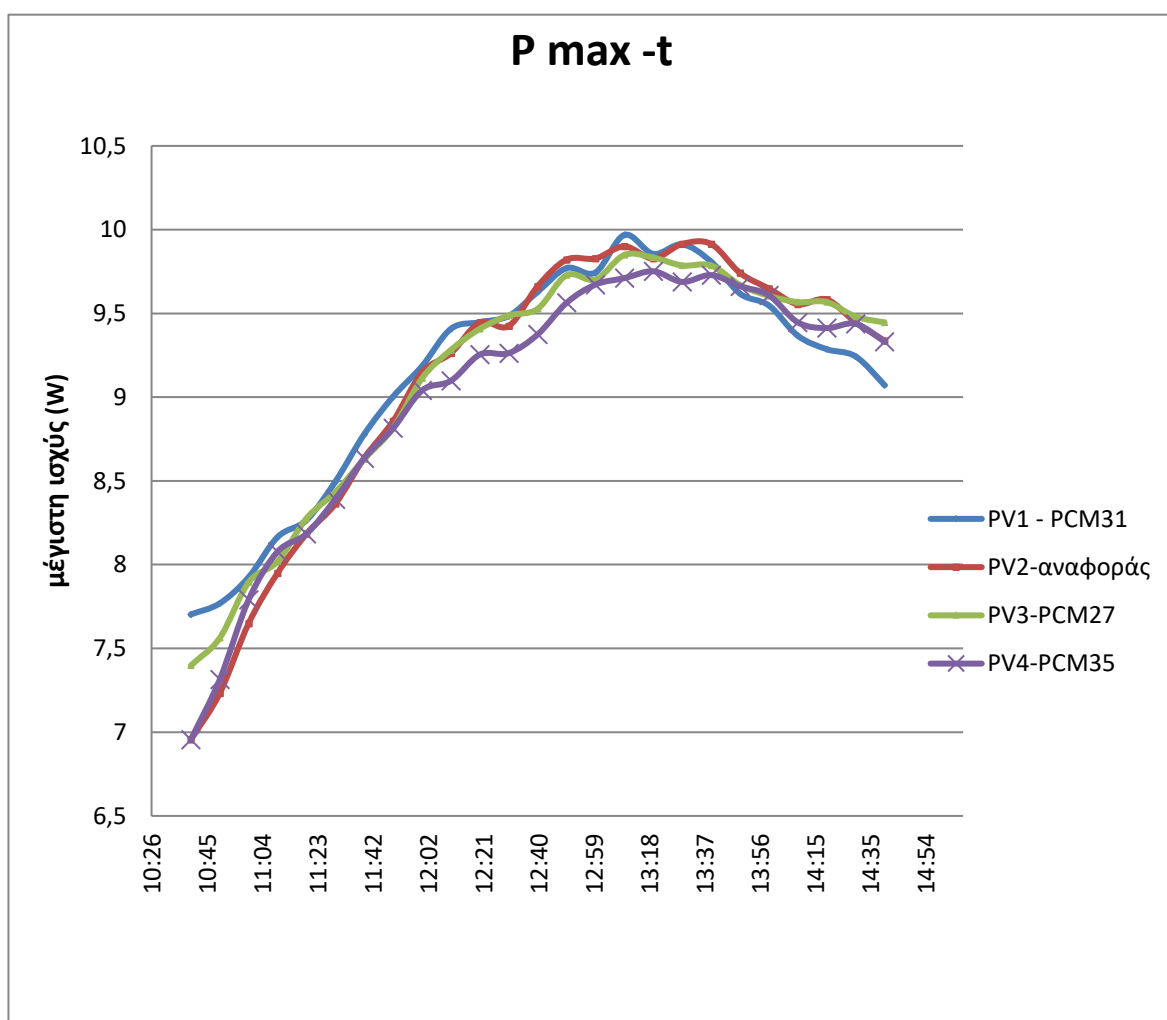


Διάγραμμα 54 καιρικές συνθήκες (13/7/2017)



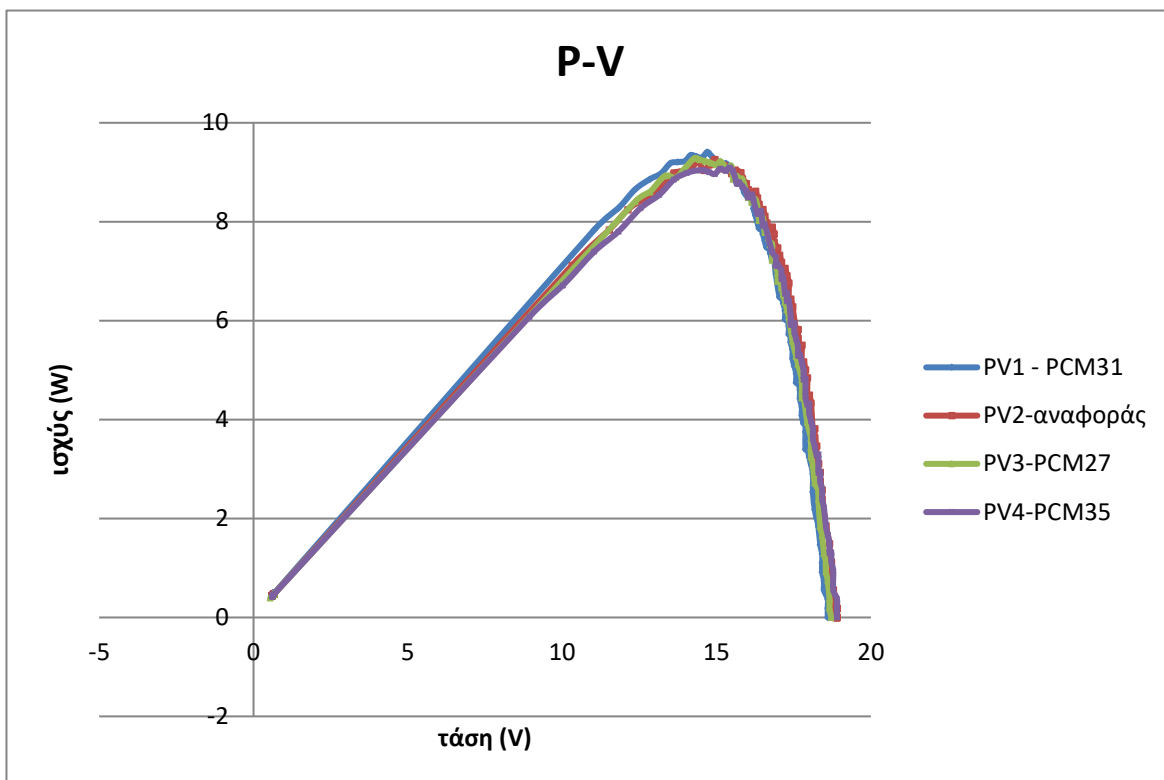
Διάγραμμα 55 θερμοκρασία – ακτινοβολία συναρτήσεως του χρόνου για κάθε πλαίσιο

Στο διάγραμμα 55, όπου αναπαρίστανται οι θερμοκρασίες των πλαισίων, παρατηρείται πως το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς είναι το θερμότερο συγκριτικά με τα λοιπά Φ/Β πλαίσια με το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης. Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στα πλαίσια με το ΥΑΦ και σε αυτού της αναφοράς, ήταν αυτή του 3^{ου} πλαισίου με της αναφοράς, η οποία ήταν 20 °C και παρατηρείται τις πρωινές ώρες, και πιο συγκεκριμένα στη μέτρηση των 9:50. Το τρίτο πλαίσιο είχε σύστημα ψύξης πληρωμένο με το PCMR27, δηλαδή το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε και στην πρώτη φάση του πειράματος. Η μέγιστη διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στη θερμοκρασία του πρώτου πλαισίου (PCMR31) και σε αυτή του πλαισίου αναφοράς ήταν 16,6 °C στη μέτρηση των 9:50. Όσον αφορά το τέταρτο πλαίσιο (PCMR35) και τη μέγιστη θερμοκρασιακή του διαφορά με το πλαίσιο αναφοράς, ήταν 12,4° C και παρατηρήθηκε στη μέτρηση των 10:10.

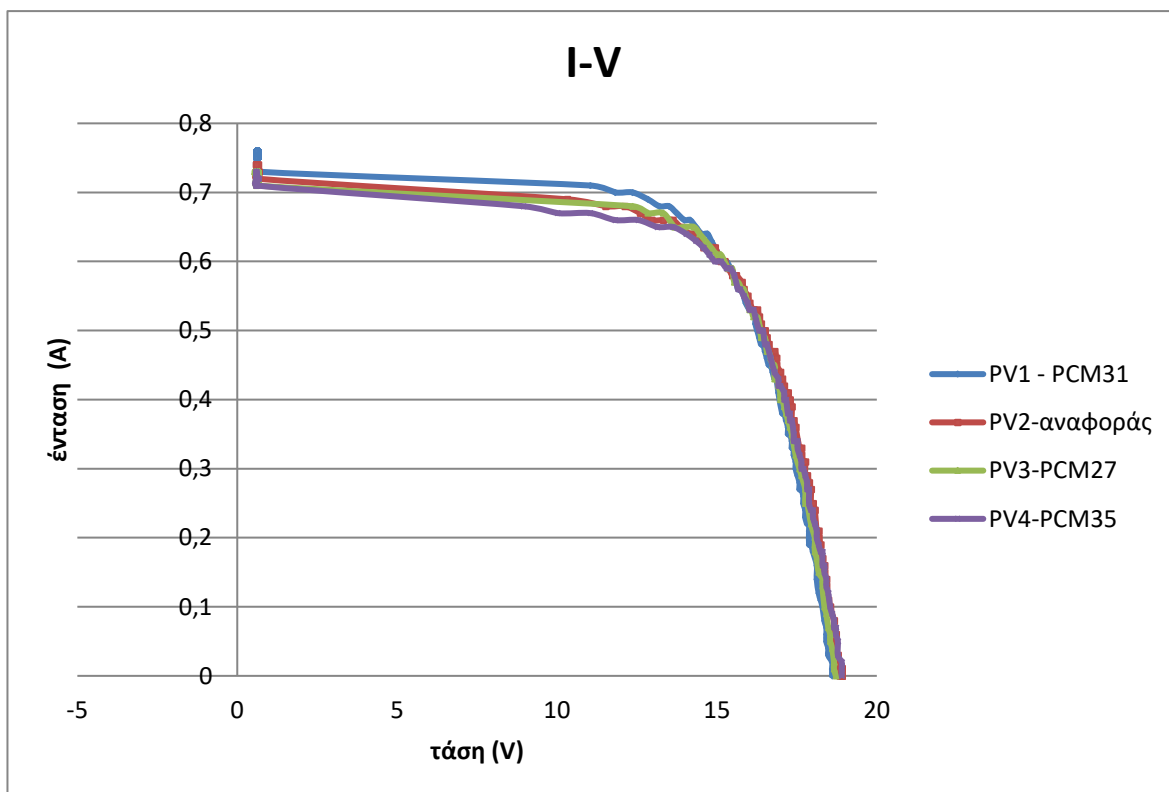


Διάγραμμα 56 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Το διάγραμμα μέγιστης ισχύος σε σχέση με το χρόνο (διάγραμμα 56) δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική διαφορά στις αποδόσεις των πλαισίων.



Διάγραμμα 57 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 12.10



Διάγραμμα 58 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 12.10

Πίνακας 20 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

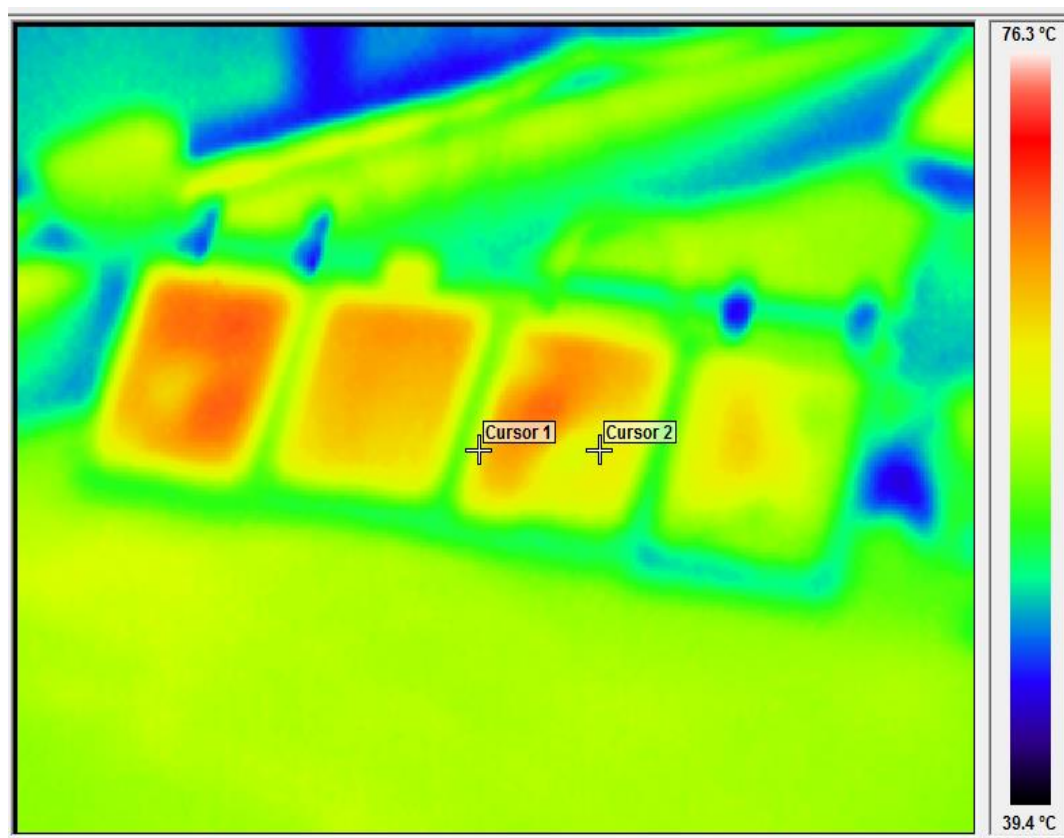
Ακτινοβολία h_t (W/m^2)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)	Απόδοση PV2 (%)	Απόδοση PV1-PCM31 (%)	Απόδοση PV3-PCM27 (%)	Απόδοση PV4-PCM35 (%)
794	31.2	10.88	10.38	10.93	10.40
		Παράγων πλήρωσης FF2 PV2	Παράγων πλήρωσης FF1 PV1- PCM31	Παράγων πλήρωσης FF3 PV3- PCM27	Παράγων πλήρωσης FF4 PV4- PCM35
		0.67	0.65	0.69	0.67

Καμία διαφορά δεν γίνεται αισθητή ούτε στα διαγράμματα 57 και 58. Ωστόσο, στον πίνακα 20 παρουσιάζεται μικρή υπεροχή στην απόδοση του PV3-PCM27 συγκριτικά με τα πλαίσια αναφοράς, PV1-PCM31 και PV4-PCM35.

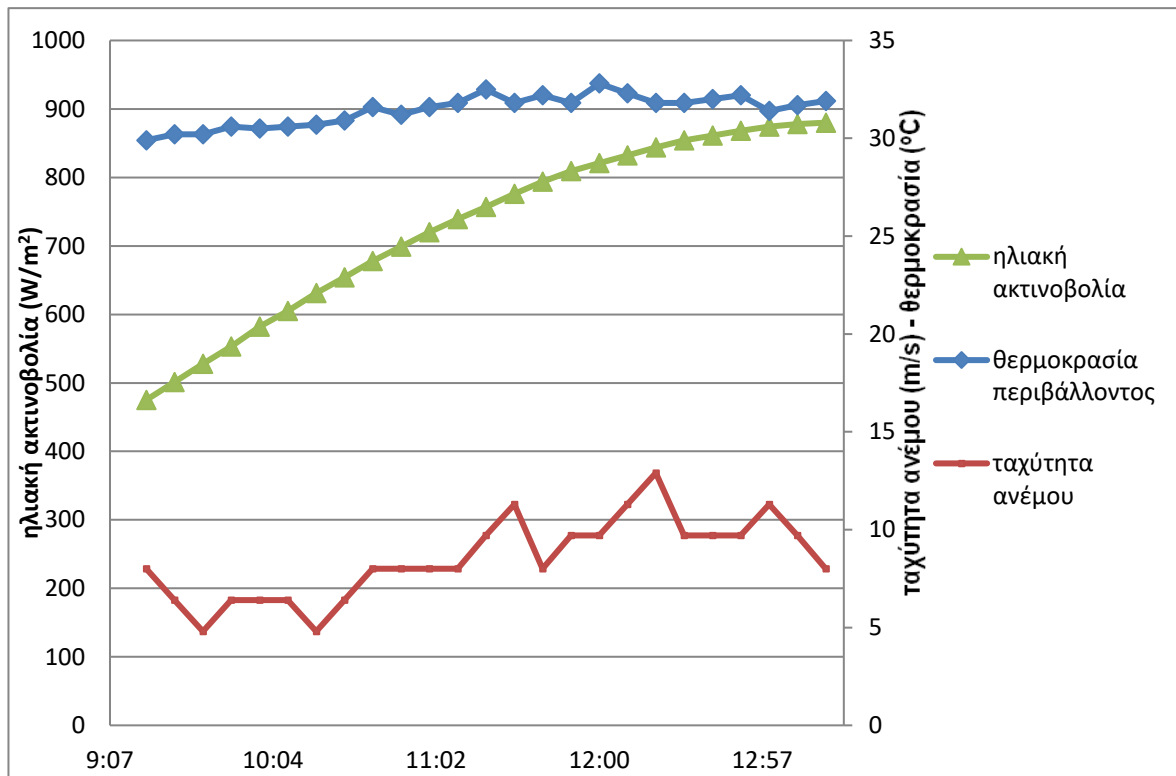
11/7/17(καιρός αίθριος, άνεμος μέτριος-ισχυρός

Θερμική απεικόνιση

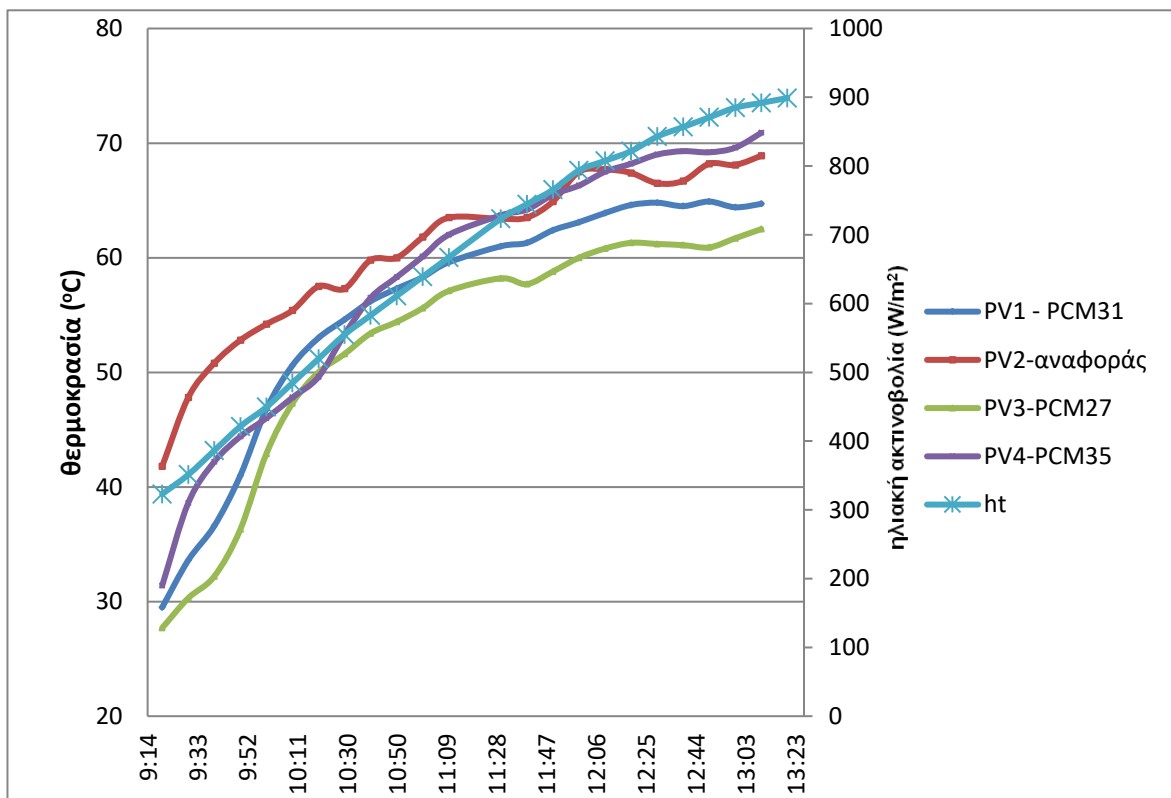
Εικόνα 24 Θερμική απεικόνιση Φ/Β της δεύτερης φάσης του πειράματος ώρα 11.00



Αρχικά, το πλαίσιο με το PCMRT35, δηλαδή το πρώτο από δεξιά παρουσιάζεται ψυχρότερο όλων. Έπειτα, το 1^ο από αριστερά φαίνεται πως έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία, το οποίο αποτελεί το πλαίσιο με το PCMRT31.

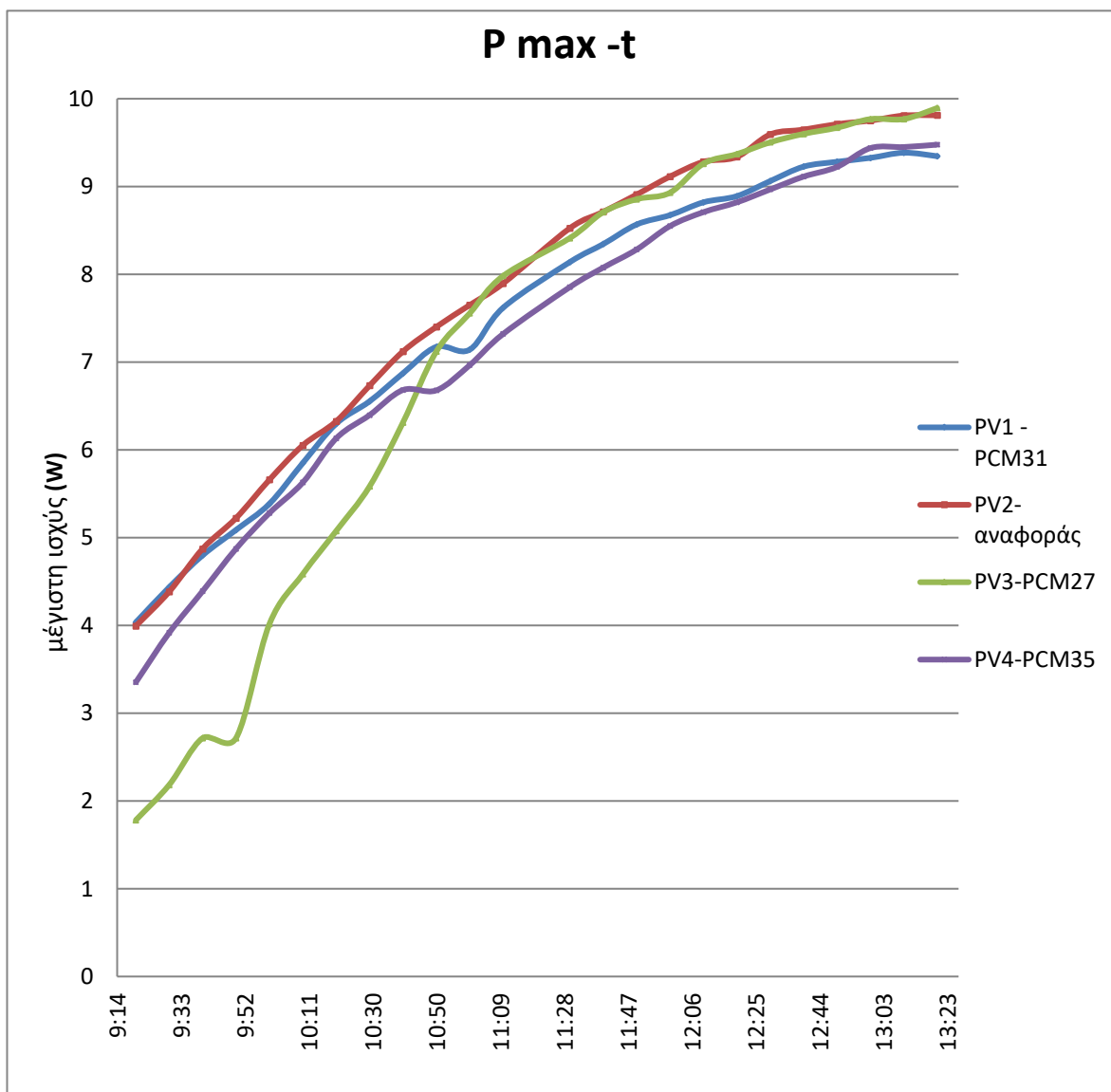


Διάγραμμα 59 καιρικές συνθήκες (11/7/2017)

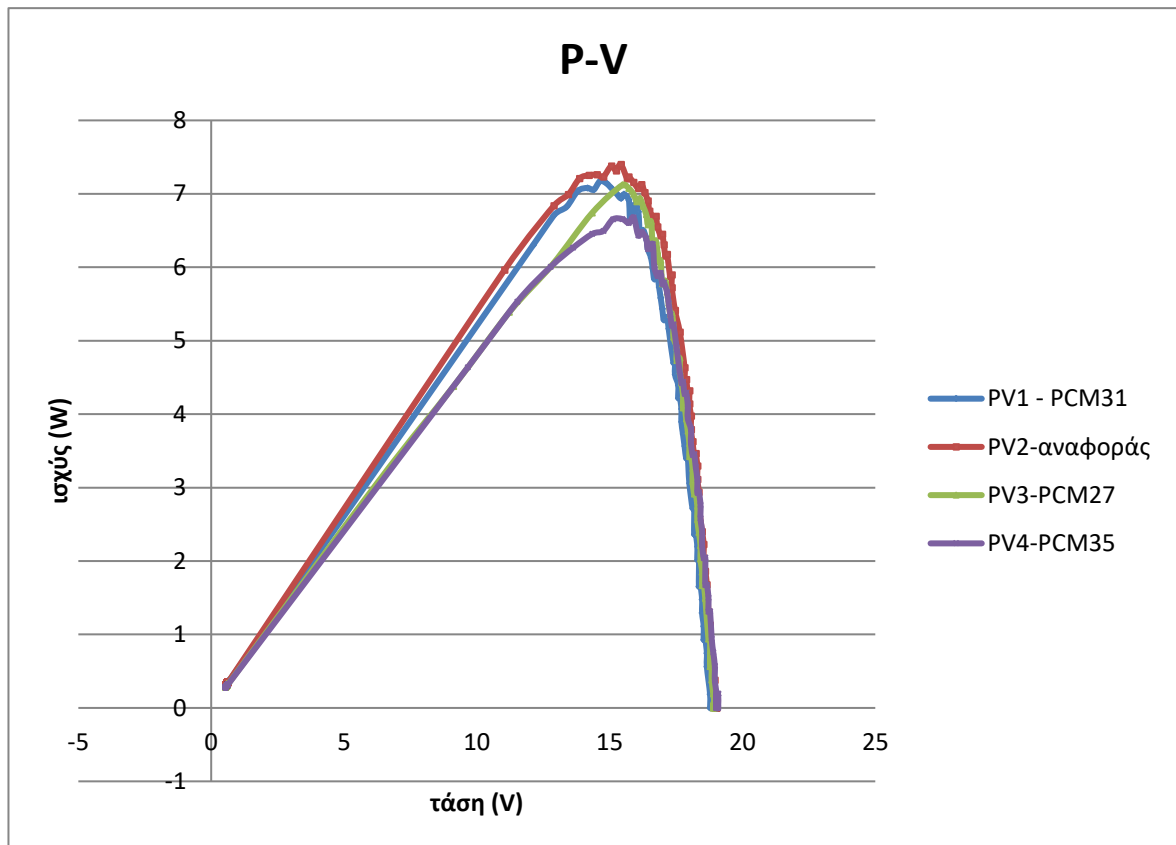


Διάγραμμα 60 θερμοκρασία - ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για κάθε πλαίσιο

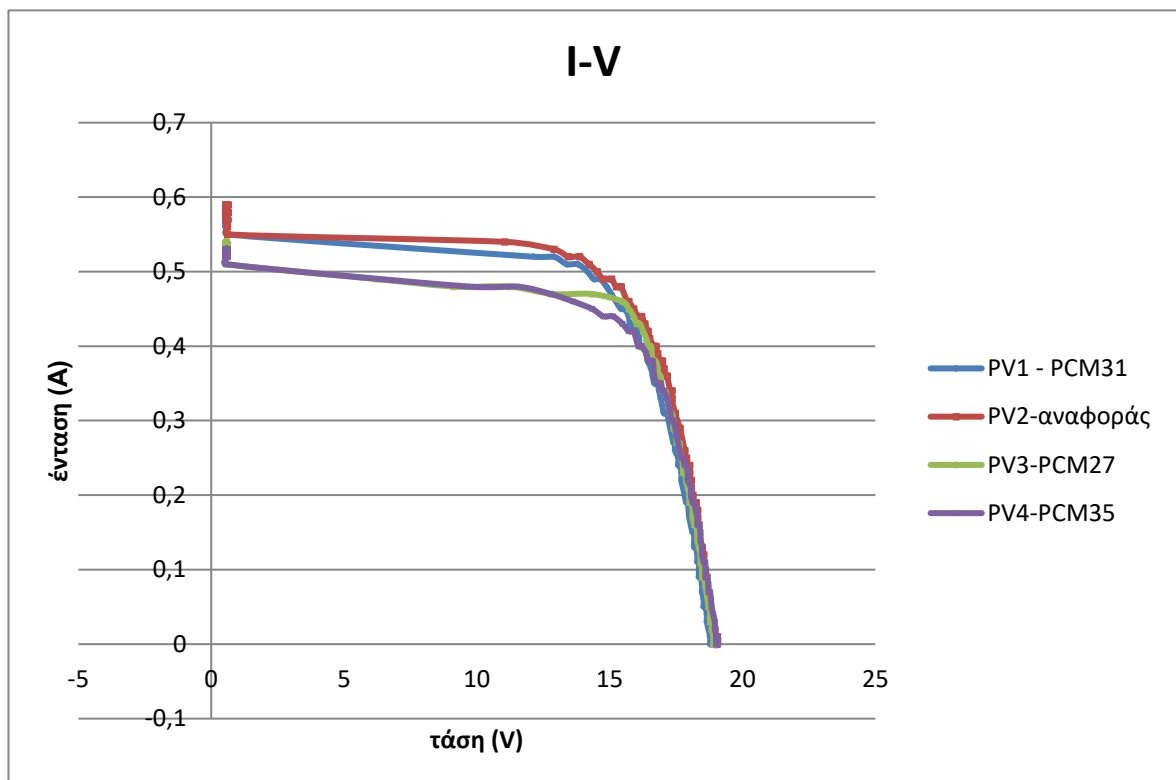
Στο διάγραμμα 60, με τις θερμοκρασίες των πλαισίων, το πλαίσιο αναφοράς είναι το θερμότερο συγκριτικά με τα λοιπά Φ/Β πλαίσια με το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης. Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στα πλαίσια με το ΥΑΦ και σε αυτού της αναφοράς, ήταν αυτή του 3^{ου} πλαισίου με της αναφοράς, η οποία προσέγγιζε τους 19°C και παρατηρείται τις πρωινές ώρες, και πιο συγκεκριμένα στη μέτρηση των 9:40. Το τρίτο πλαίσιο είχε σύστημα ψύξης πληρωμένο με το PCMRT27, δηλαδή το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε και στην πρώτη φάση του πειράματος. Η μέγιστη διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στη θερμοκρασία του πρώτου πλαισίου (PCMRT31) και σε αυτή του πλαισίου αναφοράς ήταν 14,2°C στη μέτρηση των 9:30. Όσον αφορά το τέταρτο πλαίσιο (PCMRT35) και τη μέγιστη θερμοκρασιακή του διαφορά με το πλαίσιο αναφοράς, ήταν 10,4°C και παρατηρήθηκε στη μέτρηση των 9:20.



Διάγραμμα 61 μέγιστη ισχύς συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 62 ισχύς – τάσης για τη μέτρηση στις 10.50



Διάγραμμα 63 τάσης- έντασης για τη μέτρηση στις 10.50

Πίνακας 21 παρουσίαση συνθηκών περιβάλλοντος σε σχέση με την απόδοση των πλαισίων

Ακτινοβολία ht (W/m ²)	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C)	Απόδοση PV2 (%)	Απόδοση PV1- PCM31 (%)	Απόδοση PV3- PCM27 (%)	Απόδοση PV4- PCM35 (%)
611	31.5	11.72	11.36	11.27	10.57
		Παράγων πλήρωσης FF2 PV2	Παράγων πλήρωσης FF1 PV1- PCM31	Παράγων πλήρωσης FF3 PV3- PCM27	Παράγων πλήρωσης FF4 PV4- PCM35
		0.67	0.67	0.7	0.68

Στο διάγραμμα μέγιστης ισχύος, (διάγραμμα 61) το Φ/Β αναφοράς παρουσιάζεται πιο αποδοτικό, συγκριτικά με τα υπόλοιπα Φ/Β πλαίσια, γεγονός το οποίο αντικατοπτρίζεται και στον πίνακα 21, με το Φ/Β αναφοράς να υπερέχει των λοιπών πλαισίων, αναφορικά με την απόδοση αυτών. Τα διαγράμματα 62 και 63 μας υποδεικνύουν ότι και το διάγραμμα μέγιστων αποδόσεων, δηλαδή υπεροχή του Φ/Β αναφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1η Φάση

Για τη πρώτη φάση του πειράματος δύναται να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Αρχικά, κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών, πιο συγκεκριμένα από τις 9.00 μέχρι και τις 13.00, σε καιρό με άπνοια και ηλιοφάνεια, το Φ/Β σύστημα με τη ψύξη παρουσιάζει μεγαλύτερη ισχύ συγκριτικά με αυτό της αναφοράς. Η διαφορά των μέγιστων ισχύων των δύο πλαισίων πολλές φορές άγγιζε τα 4 W. Έπειτα, υφίστατο εξίσωση των 2 αποδόσεων, λόγω αλλαγής φάσης του ΥΑΦ. Αξίζει να αναφερθεί πως κάποιες μέρες μετρήσεων, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες που το ΥΑΦ ρευστοποιούνταν, το Φ/Β πλαίσιο χωρίς το σύστημα ψύξης παρουσίαζε μεγαλύτερη ισχύ. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η ύπαρξη ανέμου λειτουργούσε κι αυτή με τη σειρά της ως μέθοδος ψύξης και προφανώς πιο αποτελεσματικά, συγκριτικά με τα ΥΑΦ. Μιας και το Φ/Β σύστημα αναφοράς έρχεται σε άμεση επαφή με τα μόρια του αέρα, ψύχεται καλύτερα, ενώ αυτό με το σύστημα ψύξης λόγω παρεμβολής της πληρωμένης με ΥΑΦ δεξαμενής, καθώς και ενός λεπτού στρώματος αέρα ανάμεσα στο πλαίσιο και τη δεξαμενή, που διαδραμάτιζαν τον ρόλο του εμποδίου, δεν ψυχόταν επαρκώς. Επίσης, λόγω έλλειψης τεχνολογικών μέσων προκειμένου να επιτευχθεί τέλεια επαφή του πλαισίου με τη δεξαμενή ψύξης, υπήρχε παρεμπόδιση μεταφοράς θερμότητας από το Φ/Β στο ΥΑΦ, κι έτσι δεν υπήρχε αξιοποίηση του 100% των δυνατοτήτων του.

Μπορούμε με ασφάλεια να ισχυριστούμε πως υφίσταται, με την βοήθεια του συστήματος ψύξης, βελτίωση της απόδοσης, όμως δεν ήταν η αναμενόμενη βέλτιστη. Τις περισσότερες φορές η βελτίωση της απόδοσης του πλαισίου με ψύξη ξεπέρανε το 3%, σε σχέση με την απόδοση του πλαισίου αναφοράς. Πάντως, παρά την ύπαρξη των προαναφερθέντων παρεμποδιστικών παραγόντων τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά. Ιδιαίτερα, όσον αφορά τα θερμοκρασιακά αποτελέσματα, τόσο οι θερμικές απεικονίσεις, όσο και τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θερμόμετρου υποδεικνύουν πως το Φ/Β πλαίσιο με το προσαρμοσμένο σύστημα ψύξης ήταν κατά πολύ ψυχρότερο, ιδιαίτερα τις πρώτες ώρες μετρήσεων του πειράματος (9.00 - 13.00). Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως η επιρροή της θερμοκρασίας δεν είναι η ίδια σε όλους τους τύπους Φ/Β συστημάτων, όπως στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του παρόντος πειράματος, το οποίο δεν παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση στην ισχύ με την αύξηση της θερμοκρασίας (-0,24%/°C). Από την άλλη μεριά, σε περιπτώσεις άλλων Φ/Β πλαισίων, όπως των καινούργιων τύπων μονοκρυσταλλικών, αποδόσεως κοντά στο 21%, η θερμοκρασία έχει μεγαλύτερη επίδραση. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως επειδή τα πειράματα έλαβαν χώρα από τα μέσα της περιόδου Φλεβάρη μέχρι τον Ιούνιο, η βελτίωση της απόδοσης λόγω ψύξης περιορίζεται λόγω των συνθηκών της δεδομένης εποχής.

Η βιωσιμότητα του ΦΒ-ΥΑΦ ως μεμονωμένο σύστημα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Ωστόσο, αν ληφθεί υπόψη παραγωγή σε βιομηχανικό επίπεδο σε συνδυασμό με την πτώση στο κόστος παραγωγής των ΥΑΦ που προβλέπεται στο εγγύς μέλλον, τότε το συνολικό κόστος μπορεί να μειωθεί δραστικά και η λύση να καταστεί βιώσιμη και συμφέρουσα.

Για παραπάνω διερεύνηση των ΥΑΦ στα Φ/Β δύναται να μελετηθεί περαιτέρω το σύστημα καθ' όλη την διάρκεια του έτους προκειμένου να καταστεί δυνατή η πλήρης αξιολόγηση της συμπεριφοράς του και να υπάρξει πιο ασφαλής εξαγωγή συμπερασμάτων. Μία άλλη πρόταση έρευνας θα ήταν να υπάρξει μελέτη προκειμένου να βρεθεί τρόπος που θα καθιστά την επαφή του ΥΑΦ με το Φ/Β πλαίσιο άμεση, χωρίς ανωμαλίες στην επιφάνεια διεπαφής.

2η Φάση

Για τη 2η φάση του πειράματος μας, λόγω περιορισμένου αριθμού επαναλήψεων καθώς και ύπαρξης μεγάλης πιθανότητας ανθρωπίνου λάθους, μιας και η τοποθέτηση κι ο έλεγχος κλίσης των μικρών πλαισίων γινόταν χειροκίνητα, δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή πορίσματα.

Ωστόσο, μία αρχική εκτίμηση της κατάστασης, υποδεικνύει πως το Φ/Β πλαίσιο με σύστημα ψύξης πληρωμένο με το PCMRT 27 και το Φ/Β πλαίσιο αναφοράς παρουσίαζαν τη μεγαλύτερη ισχύ, καθώς και μεγαλύτερη απόδοση, συγκριτικά με τα άλλα δύο Φ/Β συστήματα τα οποία είχαν μηχανισμό ψύξης πληρωμένο με τα PCMRT 35 και PCMRT 31. Ισχυρότερο όλων υποδεικνύεται το πλαίσιο αναφοράς με απόδοση που ξεπερνά τα υπόλοιπα πλαίσια αλλά και μέγιστη ισχύ μεγαλύτερη κατά 0,5W μέχρι 1 W σε σχέση με τα πλαίσια με το σύστημα ψύξης. Συνεπώς, ηλεκτρολογικά τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα, καθώς είχαμε να μεν τη θερμοκρασιακή διαφορά που υποσχόταν το σύστημα ψύξης, αλλά δεν υπήρχε η επιθυμητή επίδραση στα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά, όπως η βελτίωση της απόδοσης των πλαισίων

Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, το πλαίσιο αναφοράς ήταν το θερμότερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα πλαίσια, συνεπώς ο ισχυρισμός πως, θερμοκρασιακά, υφίσταται αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης θα ήταν βάσιμος καθώς οι θερμοκρασιακές διαφορές των ψυχόμενων πλαισίων σε σχέση με το πλαίσιο αναφοράς ξεπερνούσαν τους 10° C. Αξίζει να σημειωθεί πως η θερμοκρασιακή διαφορά των πλαισίων με ψύξη σε σχέση με το πλαίσιο αναφοράς, τηρούνταν καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (9.00-13.00).

Είναι γεγονός πως για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων απαιτείται περαιτέρω μελέτη. Μία πρόταση θα ήταν να μελετηθεί το σύστημα για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και σε ποικίλες εποχές του έτους προκειμένου να επιτευχθεί η επαρκής αξιολόγηση της συμπεριφοράς του. Άλλη πρόταση έρευνας θα μπορούσε να είναι η μελέτη για την εύρεση διαφορετικού τρόπου ψύξης των πλαισίων, απ' ότι

αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, προκειμένου να υφίσταται πιο αποτελεσματική εκμετάλλευση του ΥΑΦ για τη ψύξη του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Biwole P., Eclachec P., Kuznik F., Phase-change materials to improve solar panel's performance Energy and Buildings, Vol 62, pp.59-67, Elsevier, 2013
2. Ciulla G., Valerio B., Maurizio C., Vincenzo F., Daniele M., A finite difference model of a PV-PCM system, Dipartimento dell'Energia, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy, 2012
3. Hachem F., Abdulhay B., Ramadan M., Hage H., Gad M., Khaled M., Improving the performance of photovoltaic cells using pure and combined phase change materials – Experiments and transient energy balance, renewable energy, vol.107, pp 567-575, 2017
4. Hasan A., McCormack J., Huang M., Norton B., Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics. Solar Energy, Vol. 84, pp 1601–1612, 2010
5. Hasan A., Sarwar J., Alnoman H., Abdelbaqi S., Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate, Vol. 146, pp 417-429, 2017
6. Huang J., Hewitt N., 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
7. Huang M., Two Phase Change Material with Different Closed Shape Fins in Building Integrated Photovoltaic System Temperature Regulation, World Renewable Energy Congress, Sweden, 2011
8. Koehl M., Heck M., Wiesmeier S., Wirth J., Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 95, pp. 1638-1646, 2011
9. Machniewicz A., Knera D., Heim D., Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels, Department of Environmental Engineering, Lodz University of Technology, Łódź, Poland, 2015
10. Mehling H., Cabeza L., Heat and Cold storage with PCM, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
11. Rubitherm Technologies GmbH, RUBITHERM® RT, Phase Change Material based on n-Paraffins and Waxes, 2012
12. Savvakis N., Tsoutsos T., Phase change materials in photovoltaics: the assessment of system performance in the present Mediterranean climate conditions, Technical University of Crete, Chania, 2016
13. Schlenker S., Wambach K., Recycling of solar cells and modules, Deutsche solar, 2005
14. Sharp Energy Solution. Datasheet Sharp zonnepaneel NA-F121(G5) 121 Wp. Hamburg, Germany, 2012
15. Tan L., Date A., Fernandes G., Singh B., Ganguly S., Efficiency Gains of Photovoltaic System Using Latent Heat Thermal Energy Storage, Energy Procedia, Vol. 110, pp 83-88, 2017

16. Vasiliev L., Burak V., Latent storage modules for preheating internal combustion petrol engines, Applied Engineering, Vol 20, 2000
17. Wei N., Nan W., Guiping C., Experimental study of efficiency of solar panel by phase change material cooling, Faculty of Engineering, Nilai University, 2017
18. Zalba B., Martin J., Free-cooling of buildings with phase change materials, International journal of refrigeration, Vol 27 ,2005
19. Λύκος Δημήτριος, Αριθμητικές Μέθοδοι Μοντελοποίησης Υλικών Αλλαγής Φάσης , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007
20. Πριγκηπάς Δ., Ανάπτυξη Υπολογιστικών Εργαλείων για την Προσομοίωση Χαρακτηριστικών Ροής σε Συστήματα με Ταυτόχρονη Αποθήκευση Ενέργειας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012
21. Σαββάκης Ν., Συγκριτική Αξιολόγηση Θερμικών ζωνών για αξιοποίηση σε δομημένο περιβάλλον, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2010
22. Τρυπαναγνωστόπουλος Ι., Τζαβέλλας Δ., Ζούλια Ε., ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ/ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΑ, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2015
23. Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογίες και Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2013
24. Φραγκιαδάκης Ι., Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2007

INTEPNET SITES

1. <http://www.sharp.de/>[11/2017]
2. <https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/organische-pcm-rt>[10/2017]
3. <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/advanced-phase-change-material-pcm-market-1087.html>[11/2017]
4. www.luxor.com[11/2017]
5. www.omega.com[11/2017]
6. www.irysis.com[11/2017]
7. <http://www.ni.com/white-paper/7230/en/>[10/2017]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1^η φάση

Πίνακας 22 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (22/2/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
10:30	96,348	92,751	11,8	829
10:40	104,544	98,8524	12,6	885
10:50	106,641	102,816	13,2	927
12:00	127,3836	127,0152	15,9	1117
12:10	121,3632	115,83	15,1	1060
12:20	120,423	117,8514	15	1053
12:30	120,3048	117,3474	15	1053
12:40	121,1868	118,2708	15,1	1060
12:50	122,2662	119,9232	15,3	1074
13:00	122,0112	119,1096	15,2	1067
13:10	121,32	119,0298	15,2	1067
13:20	119,0166	118,011	15	1053
13:30	117,6768	116,928	14,8	1039
13:40	117,2184	115,7592	14,7	1032
13:50	117,3744	116,5596	14,7	1032
14:00	115,767	115,83	14,5	1018
14:10	112,6944	113,3004	14,1	990
14:30	106,8012	107,568	13,3	934
14:40	103,7634	103,965	12,8	899
14:50	101,6016	99,684	12,4	871
15:00	99,36	97,3056	11,9	836
15:10	97,4406	94,146	11,6	815
15:20	87,153	87,696	11,7	822
15:30	81,4968	85,9314	10,9	765
15:40	74,5104	82,9158	10,2	716
16:00	65,8464	67,7298	8,8	618

Πίνακας 23 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά - χρόνος(22/2/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
45,2	46,2	29,7	28,4
46,2	48	31,2	31
49	51	32,9	33,2
52,2	54,6	38,4	43,1
57,2	59,1	40	46
56,4	58,3	40	46,3
57,7	59,3	40	46,1
57,9	59,4	40,1	45,6
58,7	59,5	39,9	44,8
59,3	59,8	39,9	44,4
59,2	60,6	40,1	44,2
58,7	60,8	40,3	44,1
57,9	60,2	40,3	43,7
57,6	59,5	40,2	43,3
56,9	58,7	40,2	43,2
55,5	56,6	40	42,5
53,9	55,5	39,9	42
51	53,2	39,8	41,5
50,9	52,6	39,6	41,3
49,8	51,3	39,3	41,4
49,8	50,8	39,1	41,4
48,3	49,7	39,2	41,4
48	49,1	39,2	41,1
47,1	47,9	39	40,4
45,8	46	38,6	38,8
43,9	44,3	36,8	38,7

Πίνακας 24 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (23/3/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
10:10	91,377	89,0358	10,8	758
10:20	96,3174	91,977	11,5	808
10:30	96,4656	94,365	11,6	815
10:40	101,106	98,7012	12,2	857
10:50	103,4208	101,748	12,5	878
11:00	106,2228	103,5348	12,7	892
11:10	109,1976	107,4774	13,2	927
11:20	111,4656	108,783	13,5	948
11:30	115,1538	113,238	14	983
11:40	117,5016	114,7296	14,2	997
11:50	117,648	114,4032	14,3	1004
12:00	113,6808	112,14	13,9	976
12:10	119,652	118,3506	14,6	1025
12:20	121,245	119,2992	14,8	1039
12:30	121,1826	119,0592	14,9	1046
12:40	122,0256	119,232	14,9	1046
12:50	122,0856	120,4416	15	1053
13:00	123,0684	121,5534	15,1	1060
13:20	120,2352	119,8788	14,8	1039
13:30	118,665	118,6902	14,7	1032
13:40	118,0224	118,011	14,6	1025
13:50	115,5312	115,665	14,3	1004
14:00	111,1968	113,4	14	983
14:10	111,0564	112,518	13,8	969
14:20	109,344	109,869	13,5	948
14:30	100,914	102,9348	12,5	878
14:50	103,983	106,5408	12,7	892
15:00	98,136	100,11	12,2	857
15:10	93,1248	93,72	11,5	808
15:20	85,5576	86,9652	10,6	744
15:30	82,8	85,2984	10,3	723
15:40	73,2828	79,1244	9,5	667
15:50	65,7912	75,255	9	632

Πίνακας 25 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά – χρόνος(23/3/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
46	44,6	33,1	36,3
49,5	47,6	37,7	39,9
51,9	50,3	40,7	42
53,3	51,3	42,7	43,3
53,6	52	44	43,5
53,1	51,8	44,6	43
53,4	52,5	45,1	42,7
53,9	53,7	45,8	42,8
55,8	55,3	46,5	43,3
56	55,5	46,6	43,1
55,2	55	46	42,9
55,3	55,3	45,3	42,8
57,7	57,2	45,1	43,4
58,2	57,9	44,7	43,8
59,3	58,7	44,5	44,1
59,1	58,6	44,2	44,1
57,9	57,5	43,5	43,6
57	56,8	43	43,3
58	56,6	43,5	44
57,8	55,6	43,3	44,1
57,9	56	43,3	44,2
58,1	56,2	43,1	44,5
56,8	55,5	43,1	44,8
55	53,7	42,9	44,5
55,4	54,1	42,9	44,6
54,2	52,7	42,4	43,9
51,7	50,2	42	43,3
52,1	50,9	42,1	43,6
51,6	50,6	41,8	43,3
50	49,3	41,3	42,7
48,2	46,9	40,9	42,2
46,2	45,5	40,3	41,5
45,1	44,5	38,8	41,1

Πίνακας 26 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (6/4/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
10:40	91,1628	86,697	10	702
10:50	90,288	85,6098	10,3	723
11:00	94,4832	88,2816	10,7	751
11:10	104,1318	101,1024	12	843
11:20	21,1224	21,51	2,8	197
11:30	105,1218	102,6324	11,8	829
11:50	111,4344	107,4312	13	913
12:00	112,5192	107,8272	13,1	920
12:10	114,24	110,8584	13,4	941
12:20	117,2682	113,007	13,8	969
12:30	117,4404	112,5192	13,9	976
12:40	119,4336	119,0592	14,5	1018
12:50	126,7728	125,7594	15,3	1074
13:10	130,56	127,4976	15,7	1103
13:20	124,4034	122,2896	14,8	1039
13:30	122,8536	120,888	14,7	1032
13:40	122,715	121,422	14,8	1039
13:50	122,7096	120,9504	14,7	1032
14:00	122,9376	121,1232	14,7	1032
14:10	121,3542	120,2916	14,6	1025
14:20	121,68	121,6962	14,7	1032
14:30	119,4864	119,262	14,4	1011
14:40	117,5058	118,002	14,1	990
14:50	116,4072	117,3456	14	983
15:00	113,2704	116,0664	13,7	962
15:10	113,1048	114,9168	13,5	948
15:20	110,4054	112,1958	13,3	934
15:30	107,9352	109,4634	13	913
15:40	104,2944	106,4118	12,6	885
15:50	101,6304	102,8178	12,3	864
16:00	97,8336	100,5354	11,9	836

Πίνακας 27 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά - χρόνος(6/4/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
40,9	39,3	27,7	29,6
47,9	45,7	31	32,8
48,4	46,2	32,6	33,6
44,3	42,4	31,3	32,1
39,4	37,8	30,8	31,5
54,7	52,4	37,9	39
56,7	54	39,5	40,2
56,9	54,2	40,6	41,5
58,1	55,6	41,7	42,4
58,6	55,9	41,9	42,8
59,6	56,8	42,5	43,1
56,9	54,3	41,5	42,2
57,1	54,5	41,9	42,5
58,1	55,3	42,4	42,9
57,7	55,5	42,1	43
60,1	57,6	42,8	43,6
59,9	57,5	42,8	43,6
61,2	58,6	43,2	44
60,5	58,3	43,2	44,1
60,4	58,2	43,5	44,5
59,1	57,1	43,6	44,6
58,5	56,2	43,7	44,6
56,6	54,5	43,4	44,2
55,3	53,4	43,1	44,1
52,9	51,4	42,6	43,5
53,9	52,3	43,1	43,8
52,4	51	42,8	43,4
52,8	51,3	43,2	43,7
53,1	51,4	43,3	43,7
52,7	50,9	43,4	44

Πίνακας 28 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (2/5/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
10:00	68,544	64,9602	7,6	534
10:10	71,6688	68,3316	8	562
10:20	76,9692	72,5382	8,4	590
10:30	80,793	77,328	8,9	625
10:40	85,698	81,144	9,4	660
10:50	89,139	85,8222	9,9	695
11:00	93,2976	89,6232	10,4	730
11:10	96,4656	92,7504	10,8	758
11:20	99,7272	95,2182	11,2	787
11:30	102,2574	96,996	11,5	808
11:40	104,7996	101,283	11,8	829
11:50	107,1462	103,8336	12,1	850
12:00	109,4184	105,4728	12,4	871
12:10	111,384	108,4554	12,7	892
12:20	113,3298	110,2362	12,9	906
12:30	114,4794	111,8526	13,1	920
12:50	116,2836	114,2754	13,3	934
13:00	117,9264	115,6734	13,5	948
13:10	117,9618	116,4072	13,6	955
13:20	119,2296	117,8496	13,8	969
13:30	120,1068	118,104	14	983
13:40	120,8214	119,5248	14,1	990
13:50	118,2246	115,8312	13,8	969
14:30	118,9422	118,188	13,8	969
14:50	115,3656	117,4344	13,3	934
15:30	53,1432	55,323	6	421

Πίνακας 29 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά - χρόνος(2/5/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
47,2	45,6	33,5	36,8
49,5	47,5	35,2	39
50,5	48	36,5	40
52,5	49,9	38	41,3
51,8	50,5	38,7	42,3
53,1	51,5	39,4	42,8
55,6	53,4	40,1	43
56,7	54,5	40,7	42,7
56,8	54,6	40,9	42,2
58,3	55,8	41,4	42,4
59,6	56,7	41,8	42,7
61,7	58,4	42,5	43,2
61,2	58,3	42,9	43,3
60,7	58	43,2	43,3
61,7	59	43,7	43,8
62,9	60,4	44,6	44,7
62,8	60,3	45,2	45,2
63,4	60,6	46,1	45,9
63,5	60,5	47,1	47,1
64,4	61,6	48,3	48,9
65	62,3	49,6	50,2
64,1	61,7	50,4	51,1
60,2	59	51,1	50,8
62,1	61,1	53,2	52,1
49	48,3	48,7	46

Πίνακας 30 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (4/5/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
9:10	41,7876	39,5622	4,5	316
9:20	47,5278	43,7568	5	351
9:30	52,029	49,2072	5,5	386
9:40	57,8544	53,775	6,1	428
9:50	61,9824	58,797	6,5	456
10:00	66,5892	63,027	7,1	499
10:10	69,7536	67,3056	7,6	534
10:20	75,5532	71,568	8,1	569
10:30	79,7616	76,254	8,6	604
10:40	83,763	79,9908	9	632
10:50	87,3642	84,7728	9,5	667
11:00	91,9206	87,6972	9,9	695
11:10	94,806	91,6416	10,4	730
11:20	97,4604	94,6638	10,7	751
11:30	99,9252	97,86	11,1	779
11:40	103,4682	100,3968	11,4	801
11:50	105,612	103,0722	11,7	822
12:00	109,4298	105,3186	12	843
12:10	111,1392	108,2106	12,3	864
12:20	112,917	109,836	12,6	885
12:30	113,766	112,0776	12,8	899
12:40	114,8496	113,424	13	913
12:50	116,028	114,072	13,1	920
13:00	116,82	114,8004	13,3	934
13:10	116,6004	115,2018	13,3	934
13:20	117,39	116,0016	13,4	941
13:30	117,261	116,4672	13,5	948
13:40	116,0082	116,8716	13,6	955
13:50	115,9884	116,9532	13,5	948
14:00	116,289	116,5164	13,5	948
14:10	115,6518	114,7392	13,4	941
14:20	113,0724	113,886	13,3	934
14:30	111,9528	114,4248	13,2	927
14:40	111,492	113,364	13,1	920
14:50	109,872	111,6558	12,9	906
15:00	107,6532	110,0748	12,7	892
15:10	107,0328	110,0574	12,5	878
15:20	104,2272	108,4692	12,3	864
15:30	101,772	106,3476	12,2	857

Πίνακας 31 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά - χρόνος(4/5/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
37,7	36,7	27,4	29,8
40,2	39,1	28,3	31,2
42,7	41,6	29,1	32,3
44,2	43	30,1	33
46	44,5	35,1	34
47,6	45,9	37,7	34,8
49,6	47,6	39,4	36
51	49	40,8	37
52,8	50,3	41,5	37,8
54,2	51,4	42	38,5
53,9	51,2	41,9	39
55,8	52,6	41,8	39,5
56,9	53,5	41,7	39,9
57,1	53,6	41,8	40,3
58,2	54,7	42	40,8
58,5	55,4	42,4	41,3
59,7	56,5	42,7	41,9
59,9	57,1	42,9	42,4
60,4	57,2	43,2	42,9
61,2	57,9	43,6	43,5
60,6	57,2	44	44,1
61,7	58,5	45,3	44,9
63	59,9	46,4	46,1
63,7	60,9	47,8	47,2
64	61	49,8	48,9
64,6	62	50,9	50,2
64,1	61,3	51,3	51,1
64,9	62,1	51,8	52,3
64,5	61,8	52,2	53,1
65,5	62,7	52,5	54,2
65,5	62,8	51,3	53,8
64,6	62,1	50,8	54,7
63,4	60,8	51	55,7
63,7	61,5	51,4	56,6
63,6	61,4	51,7	57,4
63,4	61,6	52,1	58,2
60,8	59,7	52	57,4
59,6	58,9	51,9	57,1

Πίνακας 32 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ - ακτινοβολία (H_t) (11/5/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
9:30	55,341	53,1	6,1	428
9:40	60,4044	57,2448	6,6	463
9:50	64,8648	62,4234	7,2	506
10:00	69,72	66,5574	7,8	548
10:10	73,7088	71,196	8,3	583
10:20	78,5664	75,1512	8,8	618
10:30	82,3284	79,5324	9,3	653
10:40	87,4038	82,9458	9,8	688
10:50	90,3828	86,3688	10,2	716
11:00	94,116	89,7078	10,6	744
11:10	97,104	93,5694	11	772
11:20	100,7376	96,7128	11,4	801
11:30	103,1184	98,7012	11,7	822
11:40	105,726	100,674	12	843
11:50	108,0288	103,8336	12,4	871
12:00	110,7288	106,2864	12,7	892
12:10	112,4928	109,752	13	913
12:20	114,2754	111,2832	13,3	934
12:30	115,5312	111,8232	13,5	948
12:40	116,6982	112,9752	13,7	962
12:50	117,6588	114,5484	13,8	969
13:00	117,8658	114,7908	13,9	976
13:10	118,0452	115,3248	14	983
13:20	117,9684	116,2038	14,1	990
13:30	116,82	115,188	14	983
13:40	118,2246	115,3248	14,2	997
13:50	117,8658	116,6832	14,3	1004
14:00	116,874	115,4304	14,2	997
14:10	116,1864	113,9358	14,1	990
14:20	114,873	113,256	14	983
14:30	113,538	112,3488	13,8	969
14:40	112,056	110,9862	13,7	962
14:50	110,2464	109,4184	13,4	941
15:10	107,3652	108,3456	13,1	920
15:20	103,251	106,5816	12,8	899
15:30	101,007	104,3934	12,5	878
15:40	99,2256	102,6048	12,2	857
15:50	96,9606	100,401	12	843
16:00	94,6704	97,8318	11,8	829

Πίνακας 33 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά – χρόνος(11/5/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
40,2	41,6	27,4	28,2
43	44,8	29	30,4
44,5	46,7	29,2	31,7
46,5	49	30,6	32,8
47,9	50,6	32,1	33,8
49	51,8	33,3	35,2
49,8	51,9	34,6	36,4
52,2	54,7	35,7	38,7
54,1	56,9	36,4	41,2
54,4	56,6	36,5	42,1
54,5	56	36,8	42,4
55,6	57,9	37,2	41,9
57,2	59,3	37,5	41,1
58,6	61,4	37,8	40,8
58,7	61,7	38	40,7
58,6	61,3	38,2	41,6
58,7	61,1	38,6	41,8
60,2	62,6	39	42,3
61	62,7	39,5	43,1
62,5	64,5	40	43,9
62,2	64,7	40,7	45
63,2	66	41,5	46,1
63,4	66,1	42,3	47,1
63	65,1	43,1	47,8
63,7	66,1	44,5	48,4
64,2	66,9	45,4	49
64,1	66,2	46,3	49,5
64,5	66,4	47,1	49,9
64,7	66,8	47,9	50,1
63,9	65,8	48,6	50,2
64,4	66,1	49,4	50,5
64,5	66,3	50,3	50,8
64,5	66,3	51,2	51
63,1	64,2	52,5	51,5
62,6	63,9	52,8	51,6
62,5	63	53	51,6
61,3	60,5	52,9	51,3
60,7	59,7	52,9	51,2
59,5	58,1	52,7	51,1

Πίνακας 34 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ – ακτινοβολία (H_t) (23/5/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
8:40	29,2284	26,352	3,1	218
8:50	32,9688	32,13	3,6	253
9:00	38,5758	36,72	4	281
9:10	43,5	41,9832	4,5	316
9:20	49,128	46,5534	5,1	358
9:30	53,2164	51,3588	5,5	386
9:40	58,8552	55,9782	6,1	428
9:50	62,7816	60,7392	6,5	456
10:00	68,1666	64,542	7	492
10:10	72,141	69,5688	7,6	534
10:20	76,923	73,1808	8	562
10:30	80,481	77,0112	8,5	597
10:40	85,1382	80,967	9	632
10:50	87,8604	84,7188	9,4	660
11:00	91,9206	88,2756	9,8	688
11:10	94,3866	91,53	10,1	709
11:20	97,9872	93,7056	10,5	737
11:30	100,4304	96,882	10,8	758
11:40	103,4796	99,051	11,1	779
11:50	105,2058	102,408	11,4	801
12:00	107,73	104,52	11,7	822
12:10	109,5924	106,4244	12	843
12:20	111,1176	108,54	12,2	857
12:30	112,3254	109,8336	12,4	871
12:40	113,886	110,4054	12,6	885
12:50	114,513	111,216	12,8	899
13:00	115,311	111,672	12,9	906
13:10	115,8072	113,373	13	913

Πίνακας 35 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά – χρόνος(23/5/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
34,3	34,1	24,8	27,2
35,5	34,9	25,4	27
37,9	37,4	26,3	28,6
40,3	39,9	27	29,6
43,4	42,2	27,8	29,5
44,8	43,6	28,6	29,5
47,1	45,7	29,5	30,5
49,6	47,9	30,8	31,6
50,3	48,8	31,9	32,7
51,7	49,9	33	34,5
53,7	51,2	34,5	36,3
54,6	52,2	35,9	38,3
56,4	53,9	36,4	39,9
57,8	55,3	36,6	40,4
57,9	55,4	36,8	40
59,4	57	37	39,6
59,4	57,4	37,4	40,8
60,7	58,5	37,8	41,1
59,1	57,5	38	40,8
61,3	59,3	38,5	41,2
62,3	60,3	38,9	41,7
61,4	60	39,3	42,6
62,2	61	39,8	42,8
64,4	62,8	40,3	43,9
64,6	63	40,7	44,9
64,9	63,1	41,2	45,6
65	63,7	42,6	45,6

Πίνακας 36 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ - ακτινοβολία (H_t) (24/5/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
8:40	28,6488	26,1516	2,4	169
8:50	32,7558	32,109	2,8	197
9:00	38,1276	36,261	3,2	225
9:10	42,96	42,12	3,6	253
9:20	48,645	46,62	4,2	295
9:30	52,9956	52,125	4,8	337
9:40	58,4634	55,7976	5,2	365
9:50	62,64	60,5748	5,7	400
10:00	67,3596	64,2444	6,1	428
10:20	76,4544	72,66	7,1	499
10:30	80,064	76,8966	7,5	527
10:40	84,042	79,8504	7,9	555
10:50	87,6096	84,2112	8,3	583
11:00	91,2516	87,2208	8,7	611
11:10	93,9816	90,048	9,1	639
11:20	97,6914	93,1392	9,4	660
11:30	100,2204	96,159	9,8	688
11:40	102,8748	98,784	10,1	709
11:50	104,9544	101,5542	10,4	730
12:00	107,9766	104,085	10,7	751
12:10	109,692	107,007	11	772
12:20	112,0188	108,7836	11,3	794
12:30	112,8048	110,0736	11,5	808
12:50	108,054	105,4812	11,3	794
13:10	101,376	105,1974	11	772

Πίνακας 37 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά – χρόνος (24/5/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
33,9	34,2	27	28,5
36,8	36,4	27,8	29,6
39,2	38,4	28,4	30,4
40,8	39,9	29,1	30,5
42,2	41,6	29,2	30,6
44,7	43,4	30,2	31
47,6	45,6	31,2	32,3
49,8	47,5	32,3	33,7
53,3	50,6	34,8	36,9
55,5	52	34,9	38,1
57	53,3	35,4	39,7
57,7	54,4	36	40,5
58,7	55,4	37,2	40,8
60,7	57,2	37,3	39,8
61,7	58,1	37,5	40,9
62,5	58,8	37,9	41
62,9	59,1	38,2	41,2
61,9	58,4	38,6	41,5
62,5	59,1	39,1	42,2
63,3	59,8	40	43,3
63,3	60,2	40,6	44,4
63,7	60,6	41,3	45,3
62	58,9	42,1	46
61,6	58,6	43,4	46,6

Πίνακας 38 μέγιστη ισχύς P για κάθε $\Phi/B - V$ - ακτινοβολία (H_t) (1/6/17)

	PV PCM	PV	V	Ht (ακτινοβολία)
9:00	39,042	37,914	4,5	316
9:10	42,7836	42,42	5	351
9:20	48,1518	47,286	5,5	386
9:30	52,1544	51,7524	6	421
9:40	57,8688	56,4696	6,5	456
9:50	62,1	61,344	7	492
10:00	66,78	65,1	7,6	534
10:10	70,9992	70,0188	8,1	569
10:20	76,311	73,7988	8,5	597
10:30	80,1336	77,4936	8,9	625
10:40	84,501	80,4324	9,4	660
10:50	87,7986	84,4896	9,8	688
11:00	91,665	87,2874	10,2	716
11:10	94,5888	91,1178	10,6	744
11:20	97,8942	93,6468	11	772
11:30	100,5768	96,021	11,4	801
11:40	103,341	98,328	11,7	822
11:50	105,0102	101,1528	12	843
12:00	107,082	102,336	12,3	864
12:10	108,8544	105,4104	12,5	878
12:20	110,2374	106,272	12,8	899
12:30	111,219	107,973	13	913
12:40	112,6656	109,1046	13,2	927
12:50	113,7504	110,5398	13,3	934
13:00	114,2304	111,1074	13,5	948
13:10	114,1884	112,518	13,6	955

Πίνακας 39 θερμοκρασίες για κάθε Φ/Β ξεχωριστά - χρόνος(1/6/17)

PV ΠΑΝΩ	PV ΚΑΤΩ	PV PCM ΠΑΝΩ	PV PCM ΚΑΤΩ
37	35,7	28,5	29,7
39,7	38,8	28,5	30,6
42,7	41,6	29,1	30,7
44,7	43,5	30,2	31,2
46,8	45,2	31,3	32,2
49	47,1	32,6	33,5
50,3	48,5	33,8	34,9
52,3	50,1	34,6	37,5
54,7	51,8	35,4	39,2
56	53,2	36,7	40
56,7	54,8	36,8	40,1
58,6	56,4	37	39,7
60,1	57,5	37,3	39,6
61,3	58,9	38	41,1
61,7	60,1	38,5	41,1
62,3	60,2	39,1	41,6
63	61,6	39,9	42,6
64,8	63,2	41,1	44,2
65	63,4	42,2	45,6
65,2	63,7	43,1	46,8
65,6	64,3	44,1	48
67	65,3	46,3	48,9
67,4	65,9	47,6	50
67,7	66,2	49	50,8
67,8	66	50,2	51,7

2^η φάση

Πίνακας 40 μέγιστη ισχύς P για κάθε πλαίσιο - ακτινοβολία(H_t) - V (12/7/17)

	PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35	V	Ht (ακτινοβολία)
9:20	3,7752	3,8226	1,83	3,516	4,3	302
9:30	4,1472	4,3152	1,9536	3,8688	4,6	323
9:40	4,5198	4,662	1,98	4,3524	5,1	358
9:50	4,8768	5,0292	2,601	4,8024	5,6	393
10:00	5,202	5,3568	3,0672	5,1678	6	421
10:10	5,616	5,7684	3,5028	5,5488	6,6	463
10:20	5,88	6,2484	4,05	5,9496	7	492
10:30	6,2496	6,4008	4,6632	6,288	7,4	520
10:40	6,48	6,7584	5,022	6,579	7,8	548
10:50	6,8172	7,05	5,586	6,804	8,2	576
11:00	6,9696	7,2864	6,084	7,1208	8,6	604
11:10	7,2522	7,65	7,5816	7,3206	9,1	639
11:20	7,4664	7,7952	7,7688	7,6638	9,4	660
11:30	7,6944	8,151	8,0352	7,8546	9,7	681
11:40	7,854	8,232	8,2836	8,0352	10,1	709
11:50	7,9002	8,388	8,4	8,2128	10,4	730
12:00	7,9296	8,6676	8,604	8,4606	10,7	751
12:10	7,9296	8,6676	8,604	8,4606	11,1	779
12:20	8,1618	9,126	9,0024	8,784	11,3	794
12:30	8,6376	9,2628	9,0036	8,967	11,6	815
12:40	8,8074	9,36	9,1392	9,072	11,8	829
12:50	8,7792	9,3744	9,165	9,204	12	843
13:00	8,9964	9,5634	9,3852	9,1872	12,2	857
13:10	9,0048	9,5676	9,3264	9,2928	12,3	864
13:20	9,048	9,504	9,522	9,2988	12,4	871

Πίνακας 41 θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(12/7/17)

PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35
28,6	39,2	26,8	29,7
33,1	47,2	30,1	38,1
37,2	51,5	32,4	42,4
41,7	54,3	36,3	44,6
48,5	56	43,1	45,9
52,5	57,2	47	47,3
55,4	59,5	50,1	50,3
57,7	60,1	52,7	54,9
58,8	62,1	54,5	57,5
59,5	62,1	55,7	59,8
60,3	62,5	56,9	61,8
61,3	65,2	58,3	63,4
62,3	65,4	59,5	64,6
63,4	67,4	60,8	66
64,4	69,6	62	67,3
65,4	69,9	62,8	68,2
66,2	71	63,4	69,2
66,4	70,7	63,7	69,5
66,8	71,2	63,6	70,2
67,1	71	63,7	70,7
67,6	71,9	64,1	71,4
68,3	72,6	64,6	71,9
68,3	73,2	64,5	71,7
68,3	72,7	64,6	71,6
68,9	73,8	65,6	72,3

Πίνακας 42 μέγιστη ισχύς P για κάθε πλαίσιο - ακτινοβολία(H_t) - V (9/7/17)

	PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35	V	H_t (ακτινοβολία)
10:40	7,7028	6,9552	7,398	6,9552	8,9	625
10:50	7,7688	7,2324	7,5624	7,314	9,4	660
11:00	7,9254	7,65	7,8948	7,791	9,8	688
11:10	8,1648	7,95	8,019	8,0772	10,3	723
11:20	8,2656	8,184	8,2764	8,184	10,7	751
11:30	8,496	8,3634	8,4336	8,3916	11,1	779
11:40	8,7792	8,6376	8,6304	8,6352	11,4	801
11:50	9,0036	8,8572	8,8164	8,8146	11,8	829
12:00	9,1854	9,1476	9,1134	9,0402	12,1	850
12:10	9,408	9,2628	9,282	9,0978	12,4	871
12:20	9,447	9,4464	9,408	9,2544	12,6	885
12:30	9,4848	9,4248	9,4872	9,2628	12,9	906
12:40	9,6288	9,6624	9,5274	9,3744	13,1	920
12:50	9,7704	9,8208	9,7284	9,5634	13,3	934
13:00	9,744	9,828	9,702	9,672	13,5	948
13:10	9,9684	9,9	9,849	9,7104	13,6	955
13:20	9,855	9,828	9,8328	9,7512	13,7	962
13:30	9,912	9,9144	9,786	9,6882	13,7	962
13:40	9,8088	9,9144	9,786	9,7284	13,7	962
13:50	9,618	9,7416	9,6696	9,6624	13,6	955
14:00	9,5472	9,648	9,6048	9,6078	13,6	955
14:10	9,3666	9,555	9,5676	9,4464	13,5	948
14:20	9,2862	9,5832	9,5676	9,4122	13,4	941
14:30	9,243	9,4464	9,4806	9,438	13,3	934
14:40	9,072	9,3372	9,4464	9,3312	13,3	934

Πίνακας 43 θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(9/7/17)

PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35
40,1	58,7	49,7	51,8
46,6	60,8	56,1	54,6
53,2	62,8	61,1	55,8
56,7	63,6	63,4	58,6
59	64,1	65,1	62,5
60	63,5	65,6	64,2
61	64,9	66,2	66
61,3	64,4	65,5	66,2
61,9	65,2	65,5	67,2
62,2	66,6	65	67,7
63,6	67,9	65	69,5
63,8	68,1	64,9	69,7
64,7	67,6	65,4	71
64,3	66,5	62,9	70,2
64,4	67,5	62,2	70
64,9	68,7	62,7	70,6
65,5	68,2	63,2	71,7
66	70,9	63,8	71,8
65,5	69,4	63,3	71,8
65,9	70,1	63,7	72,6
65,4	68	63,1	71,8
64,8	67	63	71,7
64,7	70	63,3	72,1
64,1	68,9	62,9	71,4
63,6	68	62,5	69,5

Πίνακας 44 μέγιστη ισχύς κάθε πλαισίου - ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο(11/7/17)

	PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35	V	Ht (ακτινοβολία)
9:20	4,035	3,9936	1,782	3,3528	4,6	323
9:30	4,4352	4,3848	2,184	3,9168	5	351
9:40	4,7988	4,8732	2,7168	4,3902	5,5	386
9:50	5,088	5,2224	2,7168	4,8732	6	421
10:00	5,3856	5,6592	4,0158	5,28	6,4	449
10:10	5,85	6,0516	4,5846	5,628	6,9	485
10:20	6,2976	6,3252	5,076	6,1308	7,4	520
10:30	6,5532	6,732	5,5836	6,396	7,9	555
10:40	6,8724	7,1208	6,312	6,6822	8,3	583
10:50	7,1736	7,4016	7,1208	6,678	8,7	611
11:00	7,1424	7,65	7,5558	6,9654	9,1	639
11:10	7,6194	7,896	7,9818	7,3206	9,5	667
11:30	8,1396	8,526	8,4132	7,8546	10,3	723
11:40	8,3448	8,712	8,7084	8,0772	10,6	744
11:50	8,568	8,9088	8,856	8,283	10,9	765
12:00	8,6742	9,114	8,9304	8,55	11,3	794
12:10	8,8206	9,282	9,261	8,7084	11,5	808
12:20	8,8908	9,3372	9,3696	8,82	11,7	822
12:30	9,0624	9,594	9,504	8,967	12	843
12:40	9,2268	9,648	9,6	9,1134	12,2	857
12:50	9,282	9,711	9,6696	9,2232	12,4	871
13:00	9,3264	9,7512	9,7686	9,438	12,6	885
13:10	9,3852	9,8088	9,7686	9,45	12,7	892
13:20	9,3456	9,8118	9,8946	9,477	12,8	899

Πίνακας 45 Θερμοκρασίες μικρών πλαισίων σε σχέση με το χρόνο(11/7/17)

PV1 - PCM31	PV2- ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PV3- PCM27	PV4- PCM35
29,5	41,8	27,7	31,4
33,6	47,8	30,3	38,6
36,6	50,8	32,2	42,2
41	52,8	36,3	44,4
46,8	54,2	42,9	46
50,6	55,4	47,3	47,8
53	57,5	50	49,6
54,6	57,3	51,6	53,3
56,2	59,8	53,4	56,5
57,3	60	54,4	58,3
58,3	61,8	55,6	60,1
59,6	63,5	57,1	62
61	63,4	58,2	63,7
61,3	63,5	57,7	64,2
62,4	64,9	58,8	65,5
63,1	67,5	60	66,3
63,9	67,7	60,8	67,5
64,6	67,4	61,3	68,2
64,8	66,5	61,2	69
64,5	66,7	61,1	69,3
64,9	68,2	60,9	69,2
64,4	68,1	61,7	69,6
64,7	68,9	62,5	70,9