



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ
ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΔΙΑΛΥΝΑ**

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΔΙΑΛΥΝΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΙΧΑΗΛ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ

ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΔΑΛΑΚΗ

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 τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτη.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Θεοχάρη Τσούτσο για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις συμβουλές που μου παρείχε, καθώς και για τη συνέπεια και την τυπικότητα που τον διέκρινε και που χωρίς τη στήριξη του θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση αυτής της εργασίας. Με την επιστημονική του κατάρτιση και την πολύπλευρη συμπαράστασή του με υποστήριξε σε όλη την πορεία των προπτυχιακών μου σπουδών.

Τις θερμότερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Σαββάκη για τη συνεχή καθοδήγηση, βοήθεια και συμβολή του σε όλα τα βήματα της προσπάθειας που κατέβαλα για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ το Δρ. Κωνσταντίνο Λαγουβάρδο Διευθυντή του Εθνικού Αστεροσκοπείου για τα μετεωρολογικά δεδομένα που μου παρείχε.

Φυσικά, από καρδιάς επιθυμώ να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθεια που μου παρείχαν.

Ευαγγελία Διαλυνά

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	8
Πίνακας Συντομογραφιών	9
Κατάλογος Πινάκων	10
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων	12
Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή.....	15
1.1 Ηλιακή ενέργεια.....	15
1.2 Η ΦΒ τεχνολογία σε παγκόσμιο επίπεδο	17
1.3 Η ΦΒ τεχνολογία στην Ελλάδα	18
1.4 Αντικείμενο μελέτης	19
Κεφάλαιο 2ο : Επισκόπηση βιβλιογραφίας.....	20
2.1 ΦΒ τεχνολογία	20
2.1.1 Σημείο Μέγιστης ισχύος	20
2.1.2 Απόδοση ΦΒ στοιχείων	20
2.2 Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση ΦΒ.....	24
2.3 Διεθνείς επιστημονικές αναφορές στη χρήση ΥΑΦ ως μέτρο παθητικής ψύξης ΦΒ	25
Κεφάλαιο 3ο : Περιγραφή πειραματικής μελέτης	30
3.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης	30
3.1.1 Εισαγωγή.....	30
3.1.2 Γεωγραφική θέση ΦΒ διάταξης.....	30
3.1.3 Σκοπός μελέτης ΦΒ διάταξης	31
3.2 Κλιματολογικές συνθήκες	32
3.3 Περιγραφή εξοπλισμού ΦΒ διάταξης.....	36
3.3.1 ΦΒ πλαίσια.....	36
3.3.2 ΥΑΦ	38
3.4 Χωροθέτηση ΦΒ διάταξης	39
Κεφάλαιο 4ο : Μεθοδολογία μελέτης.....	40
4.1 Σύντομη περιγραφή μεθοδολογίας πειραματικής μελέτης	40
4.2 Πειραματική διαδικασία.....	42

4.2.1 Έλεγχος ηλεκτρικής και θερμικής συμπεριφοράς ΦΒ πλαισίων χωρίς την ενσωμάτωση των ΥΑΦ	42
4.2.2 Καταγραφή μετρήσεων σήματος πυρανομέτρου για τον υπολογισμό της πυκνότητας ηλιακής ισχύος.....	43
4.2.3 Καταγραφή μετρήσεων I και V των ΦΒ πλαισίων	44
4.2.4 Καταγραφή θερμικών δεδομένων ΦΒ πλαισίων	46
4.3 Μέθοδος ανάλυσης μετρήσεων	48
4.3.1 Σχεδίαση καμπύλης I-V, P-V και υπολογισμός σημείου μέγιστης ισχύος.....	48
4.3.2 Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης, συντελεστή πλήρωσης και ημερήσιας ενεργειακής απολαβής ΦΒ πλαισίων.....	49
4.4 Απόκτηση περιβαλλοντικών καιρικών δεδομένων	50
Κεφάλαιο 5ο : Αποτελέσματα	51
5.1 Εισαγωγή.....	51
5.2 Χαρακτηριστικές ημερήσιες μετρήσεις	52
5.2.1 Φεβρουάριος 2019	54
5.2.2 Μάρτιος 2019	60
5.2.3 Απρίλιος 2019	67
5.2.4 Μάιος 2019	76
5.2.5 Ιούνιος 2019.....	85
5.2.6 Ιούλιος 2019.....	94
5.3 Ενεργειακή συμπεριφορά.....	97
5.4 Θερμική συμπεριφορά	98
Κεφάλαιο 6ο : Συζήτηση - συμπεράσματα	101
Βιβλιογραφία	104
Παράρτημα	107

Περίληψη

Η θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που καθορίζουν τη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την ενεργειακή απόδοση του φωτοβολταϊκού, κρίνεται λοιπόν σημαντική η εύρεση μεθόδων ελέγχου της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η παθητική ψύξη φωτοβολταϊκών πλαισίων με τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης. Ειδικότερα, εξετάστηκε η θερμική συμπεριφορά και η ενεργειακή απόδοση τεσσάρων όμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στην οπίσθια επιφάνεια των τριών φωτοβολταϊκών ενσωματώθηκαν ειδικά δοχεία, τα οποία πληρώθηκαν με υλικά αλλαγής φάσης, ενώ το τέταρτο φωτοβολταϊκό αποτέλεσε το πλαίσιο αναφοράς. Τα μελετώμενα φωτοβολταϊκά είχαν ονομαστική ισχύ 10W και σε κάθε ένα ενσωματώθηκε διαφορετικό υλικό αλλαγής φάσης. Τα υλικά αλλαγής φάσης, τα οποία διερευνήθηκαν ήταν τα PCM RT 27, PCM RT 31 και PCM RT 35 HC της Rubitherm, με θερμοκρασία τήξης 27°C, 31°C και 35°C, αντίστοιχα.

Τα φωτοβολταϊκά μελετήθηκαν σε πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες για χρονικό διάστημα έξι μηνών (Φεβρουάριος 2019 - Ιούλιος 2019). Συνολικά, διεξήχθησαν πενήντα ημερήσιες μετρήσεις, κατά τις οποίες καταγράφηκαν δεδομένα τάσης και έντασης ρεύματος, πυκνότητας ηλιακής ισχύος, θερμοκρασίες λειτουργίας οπίσθιας και εμπρόσθιας επιφάνειας των πλαισίων. Με κατάλληλη επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων προσδιορίστηκε η ημερήσια ενεργειακή παραγωγή και η μέση απόδοση των φωτοβολταϊκών κάθε εξεταζόμενης μέρας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των θερμοκρασιών λειτουργίας και της ενεργειακής απόδοσης μεταξύ του φωτοβολταϊκού πλαισίου αναφοράς και των φωτοβολταϊκών που είχαν ενσωματωθεί τα υλικά αλλαγής φάσης. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, έδειξαν ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με το PCM RT 27, είχε τη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, παρουσιάζοντας αύξηση κατά μέσο όρο 2.5% στην ενεργειακή του παραγωγή σε σχέση με το πλαίσιο αναφοράς. Η αντίστοιχη αύξηση που επιτεύχθηκε για το φωτοβολταϊκό με το PCM RT 31 ήταν 1.2%, ενώ το πλαίσιο με το PCM RT 35 δε σημείωσε βελτίωση και το 64% των πειραματικών μετρήσεων είχε τη μικρότερη ενεργειακή παραγωγή.

Abstract

The operating temperature of the photovoltaic panel is one of the most crucial factors that determine the amount of produced electricity. An increase of the temperature reduces the electric output of the panel, so it is significant to develop methods of controlling the temperature of the surface.

The aim of this particular thesis was to study the passive cooling of photovoltaic panels using phase change materials. In particular, the thermal behavior and the electrical efficiency of four identical panels were examined. Special containers were installed on the rear and of three of the panels and were filled with phase change materials, whereas the fourth panel was used as a reference photovoltaic panel. All studied panels had a nominal wattage of 10W and on each one, a different phase change material was attached. The materials that were studied were PCM RT 27, PCM RT 31, PCM RT 35 HC of Rubitherm, with melting points of 27°C, 31°C and 35°C respectively.

The photovoltaic panels were studied in real environmental conditions for six months (February 2019 – July 2019). In total, 50 daily measurements were conducted in which voltage, amperage, density of solar power, rear and frontal surface temperature was recorded. With appropriate processing of the experimental data, the daily power production and the average daily efficiency of the panels was calculated. Next, the operating temperature and the energy efficiency of the reference panel were compared with the ones of the three panels with phase change materials. The results indicated that the photovoltaic panel with PCM RT 27, had the optimal energy behavior, showing an increase of 0.34% on average at its efficiency compared to the reference photovoltaic panel. The respective increase for the PCM RT 31 panel was 0.12%, while the PCM RT 35 did not achieve an increase and had the worst efficiency in 64% of the experimental tests.

Πίνακας Συντομογραφιών

Σύμβολο	Μονάδες μέτρησης	Ερμηνεία
ΦΒ		Φωτοβολταϊκό
ΥΑΦ		Υλικό αλλαγής φάσης
ΦΒ ΥΑΦ 27		Φωτοβολταϊκό πλαίσιο που ενσωματώθηκε το PCM RT 27
ΦΒ ΥΑΦ 31		Φωτοβολταϊκό πλαίσιο που ενσωματώθηκε το PCM RT 31
ΦΒ ΥΑΦ 35		Φωτοβολταϊκό πλαίσιο που ενσωματώθηκε το PCM RT 35
ΦΒ ΑΝΑΦ		Φωτοβολταϊκό πλαίσιο αναφοράς
ΑΠΕ		Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
Gt	W/m ²	Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην επιφάνεια του ΦΒ
I	A	Ένταση ρεύματος
V	V	Τάση ρεύματος
P	W	Ισχύς
T _{mb}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ
T _{mb,27}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 27
T _{mb,31}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 31
T _{mb,35}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 35
T _{mb,PCM}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ
T _{mb,ΑΝΑΦ}	°C	Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ ΑΝΑΦ
T _{mf}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ
T _{mf,27}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 27
T _{mf,31}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 31
T _{mf,35}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ 35
T _{mf,ΑΝΑΦ}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ ΑΝΑΦ
T _{mf,ΥΑΦ}	°C	Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ ΥΑΦ
P _{inc}	W	Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην επιφάνεια του ΦΒ
A	m ²	Επιφάνεια ΦΒ
η	%	Απόδοση
P _m	W	Ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει το ΦΒ στο σημείο μέγιστης ισχύος
F.F.	%	Συντελεστής πλήρωσης
I _{sc}	A	Ρεύμα βραχυκύκλωσης
V _{oc}	V	Τάση ανοικτού κυκλώματος
T _a	°C	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
V _w	km/h	Ταχύτητα ανέμου
T _c	°C	Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού στοιχείου

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφικών αναφορών στη χρήση ΥΑΦ ως μέτρο ψύξης ΦΒ.....	29
Πίνακας 3.1 Μέσες, ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιοχής της Σούδας Χανίων	32
Πίνακας 3.2 Μηνιαία ποσοστά υγρασίας της περιοχής της Σούδας Χανίων.....	33
Πίνακας 3.3 Μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής της Σούδας Χανίων	34
Πίνακας 3.4 Μηνιαία ένταση και διεύθυνσης ανέμου της περιοχής της Σούδας Χανίων	35
Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων	37
Πίνακας 3.6 Επίδραση θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ΦΒ	37
Πίνακας 3.7 Κύρια χαρακτηριστικά ΥΑΦ	38
Πίνακας 4.1 Ενδεικτικά χρονικά διαστήματα χειμερινού ελέγχου λειτουργίας ΦΒ χωρίς την ενσωμάτωση των δοχείων	42
Πίνακας 4.2 Ενδεικτικά χρονικά διαστήματα καλοκαιρινού ελέγχου λειτουργίας ΦΒ χωρίς την ενσωμάτωση των δοχείων	43
Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά πυρανόμετρου CMP6 Kipp & Zonen	44
Πίνακας 4.4 Βασικά χαρακτηριστικά I-V tracer	45
Πίνακας 5.1 Χρονική διάρκεια πειραματικής διαδικασίας και βήμα καταγραφής δεδομένων των εξεταζόμενων ημερών	53
Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	55
Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	58
Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	61
Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	63
Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	66
Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	68
Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	71
Πίνακας 5.9 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας.....	74
Πίνακας 5.10 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	77
Πίνακας 5.11 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	80
Πίνακας 5.12 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	83
Πίνακας 5.13 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	86
Πίνακας 5.14 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	89
Πίνακας 5.15 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	92
Πίνακας 5.16 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας	95
Πίνακας 5.17 Μέσες τιμές ενεργειακής απόδοσης	97
Πίνακας 6.1 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 31 ανά μήνα	101
Πίνακας 6.2 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 ανά μήνα	102
Πίνακας 6.3 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 ανά μήνα	103

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Χάρτης ηλιακού δυναμικού της Ελλάδας	16
Εικόνα 3.1 : Δορυφορική Απεικόνιση Πολυτεχνείου Κρήτης	31
Εικόνα 3.2 ΦΒ πλαίσια πειραματικής μελέτης	37
Εικόνα 3.3 ΥΑΦ της εταιρίας Rubitherm.....	39
Εικόνα 4.1 Μεθοδολογία πειραματικής μελέτης	41
Εικόνα 4.2 Πυρανόμετρο CMP6	43
Εικόνα 4.3 Πυρανόμετρο πειραματικής μελέτης.....	44
Εικόνα 4.4 Εργαστηριακός I-V tracer	45
Εικόνα 4.5 Ψηφιακό θερμόμετρο HH309A.....	46
Εικόνα 4.6 Infrared temperature probe	47
Εικόνα 4.7 Εστίαση σε συγκεκριμένο στοιχείο με το μετρητή υπερύθρων	47
Εικόνα 4.8 Θερμοκάμερα Irisys Hot Intelligence	48
Εικόνα 5.1 Εικόνα από θερμοκάμερα, 13:30	59
Εικόνα 5.2 Εικόνα από θερμοκάμερα, 13:30	69
Εικόνα 5.3 Εικόνα από θερμοκάμερα, 12:30	75
Εικόνα 5.4 Εικόνα από θερμοκάμερα, 09:30	78
Εικόνα 5.5 Εικόνα από θερμοκάμερα, 16:30	84
Εικόνα 5.6 Εικόνα από θερμοκάμερα, 08:30	87
Εικόνα 5.7 Εικόνα από θερμοκάμερα, 10:30	87
Εικόνα 5.8 Εικόνα από θερμοκάμερα, 08:30	90
Εικόνα 5.9 Εικόνα από θερμοκάμερα, 11:30	93
Εικόνα 5.10 Εικόνα από θερμοκάμερα, 11:30	96

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1 Παγκόσμιος χάρτης εγκατεστημένης ισχύος προερχόμενης από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας το 2016	15
Διάγραμμα 1.2 Παγκόσμια εγκατεστημένη ΦΒ τεχνολογία 1975-2015	17
Διάγραμμα 1.3 Παγκόσμια παραγωγή ΦΒ πλαισίων 2005-2017	17
Διάγραμμα 1.4 Αγορά ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα τη περίοδο 2007-2018	18
Διάγραμμα 2.1 Σημείο μέγιστης ισχύος	20
Διάγραμμα 2.2 : Απόδοση και υλικά κατασκευής ΦΒ πλαισίων	21
Διάγραμμα 2.3: Επίδραση πυκνότητας ηλιακής ισχύος που προσπίπτει στο ΦΒ πλαίσιο στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά I, V	22
Διάγραμμα 2.4: Επίδραση πυκνότητας ηλιακής ισχύος που προσπίπτει στο ΦΒ πλαίσιο στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά P, V και σημείο μέγιστης ισχύος	22
Διάγραμμα 2.5 Επίδραση θερμοκρασίας στη καμπύλη I-V	24
Διάγραμμα 2.6 Υλικά λανθάνουσας θερμότητας	26
Διάγραμμα 3.1 Εξεταζόμενη φωτοβολταϊκή διάταξη	30
Διάγραμμα 3.2 Μέσες, ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιοχής της Σούδας Χανίων	33
Διάγραμμα 3.3 Μηνιαία ποσοστά υγρασίας της περιοχής της Σούδας Χανίων.....	34
Διάγραμμα 3.4 Μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής της Σούδας Χανίων,	35
Διάγραμμα 3.5 Μηνιαία ένταση ανέμου της περιοχής της Σούδας Χανίων	36
Διάγραμμα 5.1 Θερμοκρασίες οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	54
Διάγραμμα 5.2 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	54
Διάγραμμα 5.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:30, 1,109W/m ²	56
Διάγραμμα 5.4 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:30, 1,109W/m ²	56
Διάγραμμα 5.5 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	57
Διάγραμμα 5.6 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	57
Διάγραμμα 5.7 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, 1,018W/m ²	59
Διάγραμμα 5.8 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, 1,018W/m ²	59
Διάγραμμα 5.9 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	60
Διάγραμμα 5.10 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου.....	60
Διάγραμμα 5.11 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:20, 1,081W/m ²	61
Διάγραμμα 5.12 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:20, 1,081W/m ²	61
Διάγραμμα 5.13 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	62
Διάγραμμα 5.14 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	62
Διάγραμμα 5.15 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:00, 1,145W/m ²	64
Διάγραμμα 5.16 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:00, 1,145W/m ²	64
Διάγραμμα 5.17 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου	64

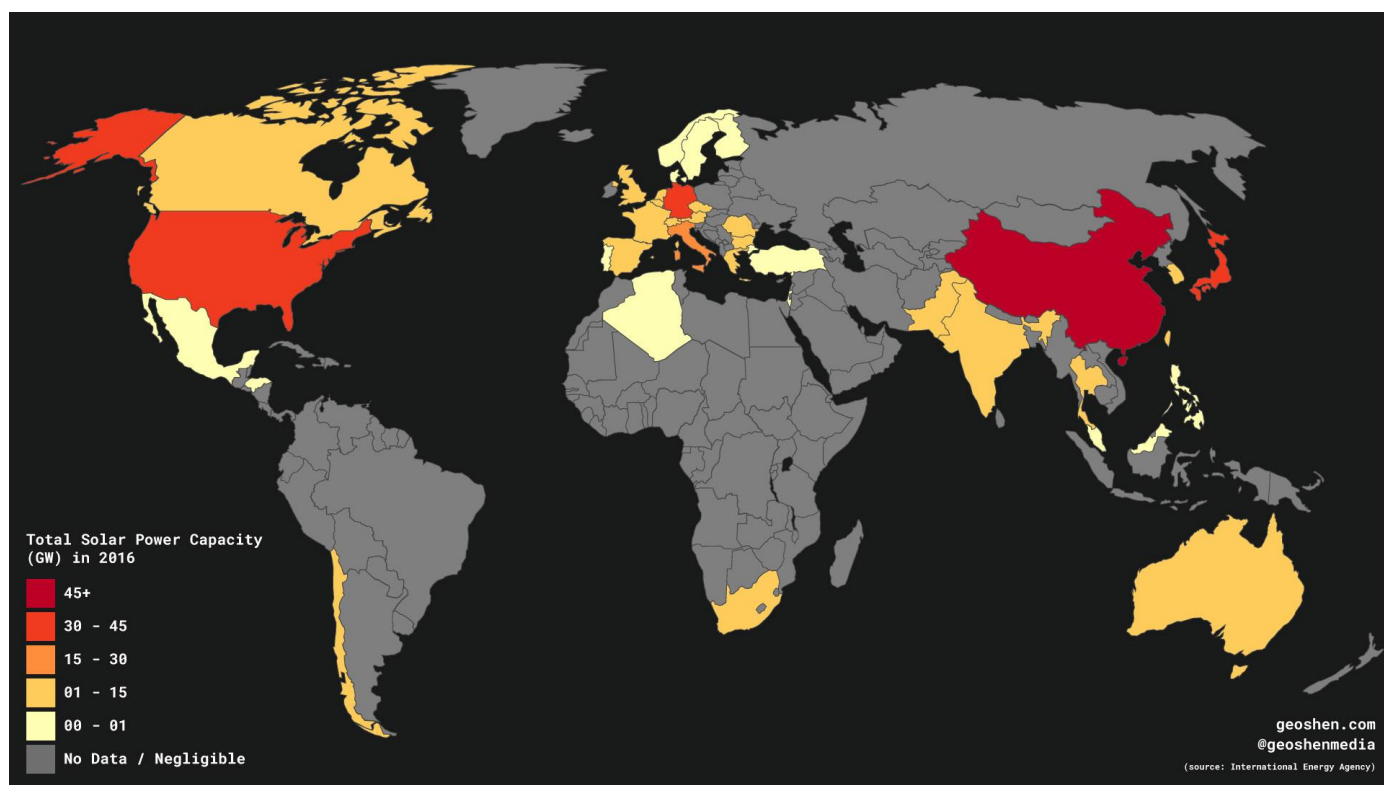
Διάγραμμα 5.18 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	65
Διάγραμμα 5.19 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	65
Διάγραμμα 5.20 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:40, 1,081W/m ²	66
Διάγραμμα 5.21 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:40, 1,081W/m ²	66
Διάγραμμα 5.22 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	67
Διάγραμμα 5.23 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	67
Διάγραμμα 5.24 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, 1,053W/m ²	69
Διάγραμμα 5.25 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, 1,053W/m ²	69
Διάγραμμα 5.26 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	70
Διάγραμμα 5.27 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	70
Διάγραμμα 5.28 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:20, 1,032W/m ²	72
Διάγραμμα 5.29 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:20, 1,032W/m ²	72
Διάγραμμα 5.30 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου	72
Διάγραμμα 5.31 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	73
Διάγραμμα 5.32 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	73
Διάγραμμα 5.33 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:30, 737W/m ²	75
Διάγραμμα 5.34 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:30, 737W/m ²	75
Διάγραμμα 5.35 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	76
Διάγραμμα 5.36 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	76
Διάγραμμα 5.37 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 09:30, 456W/m ²	78
Διάγραμμα 5.38 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 09:30, 456W/m ²	78
Διάγραμμα 5.39 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	79
Διάγραμμα 5.40 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	79
Διάγραμμα 5.41 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, 983W/m ²	81
Διάγραμμα 5.42 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, 983W/m ²	81
Διάγραμμα 5.43 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου	81
Διάγραμμα 5.44 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	82
Διάγραμμα 5.45 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	82
Διάγραμμα 5.46 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 16:30, 695W/m ²	84
Διάγραμμα 5.47 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 16:30, 695W/m ²	84
Διάγραμμα 5.48 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	85
Διάγραμμα 5.49 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	85
Διάγραμμα 5.50 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:20, 913W/m ²	87
Διάγραμμα 5.51 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:20, 913W/m ²	87

Διάγραμμα 5.52 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	88
Διάγραμμα 5.53 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	88
Διάγραμμα 5.54 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 08:30, 183W/m ²	90
Διάγραμμα 5.55 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 08:30, 183W/m ²	90
Διάγραμμα 5.56 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	91
Διάγραμμα 5.57 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	91
Διάγραμμα 5.58 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:30, 744W/m ²	93
Διάγραμμα 5.59 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:30, 744W/m ²	93
Διάγραμμα 5.60 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου	94
Διάγραμμα 5.61 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου	94
Διάγραμμα 5.62 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:30, 829W/m ²	96
Διάγραμμα 5.63 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:30, 829W/m ²	96
Διάγραμμα 5.64 Μέση θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα...	98
Διάγραμμα 5.65 Μέγιστη θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	98
Διάγραμμα 5.66 Μέση θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	98
Διάγραμμα 5.67 Μέγιστη θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα.....	98
Διάγραμμα 5.68 Μέση θερμοκρασιακή διαφορά της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	100
Διάγραμμα 5.69 Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	100
Διάγραμμα 5.70 Μέση θερμοκρασιακή διαφορά της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	100
Διάγραμμα 5.71 Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα	100

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή

1.1 Ηλιακή ενέργεια

Τα τελευταία χρόνια η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται με διάφορους τρόπους -συνηθέστερος από τους οποίους είναι η μετατροπή της σε ηλεκτρική- μέσω της φωτοβολταϊκής (ΦΒ) τεχνολογίας και η θέρμανση νερού οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης μέσω των ηλιακών θερμικών συστημάτων. Πρόκειται για μια καθαρή, Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ), η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί σχεδόν παντού στον κόσμο. Μελέτες αποκάλυψαν ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας μπορεί να εκπληρωθεί με χρήση μόνο της ηλιακής ενέργειας, καθώς είναι άφθονη στη φύση και ελεύθερα διαθέσιμη πηγή χωρίς κόστος. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο άφθονη πηγή από τις ΑΠΕ. Ο ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία $3.8 \times 10^{23} \text{ kW/s}$ και στα όρια της ατμόσφαιρας φτάνει περίπου ηλιακή ακτινοβολία ίση με $1,367 \text{ W/m}^2$ με διάφορες μορφές, όπως η θερμότητα και το φως. Καθώς διαπερνά την ατμόσφαιρα, ανακλάται και απορροφάται από τα σύννεφα και τα αιωρούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να εξασθενεί. Επίσης, είναι μια πολλά υποσχόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο, διότι δεν εξαντλείται, δίνοντας σταθερή και αυξανόμενη απόδοση από τις άλλες πηγές. Στο διάγραμμα 1.1 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ανά χώρα το 2016 [International Energy Agency, 2016].

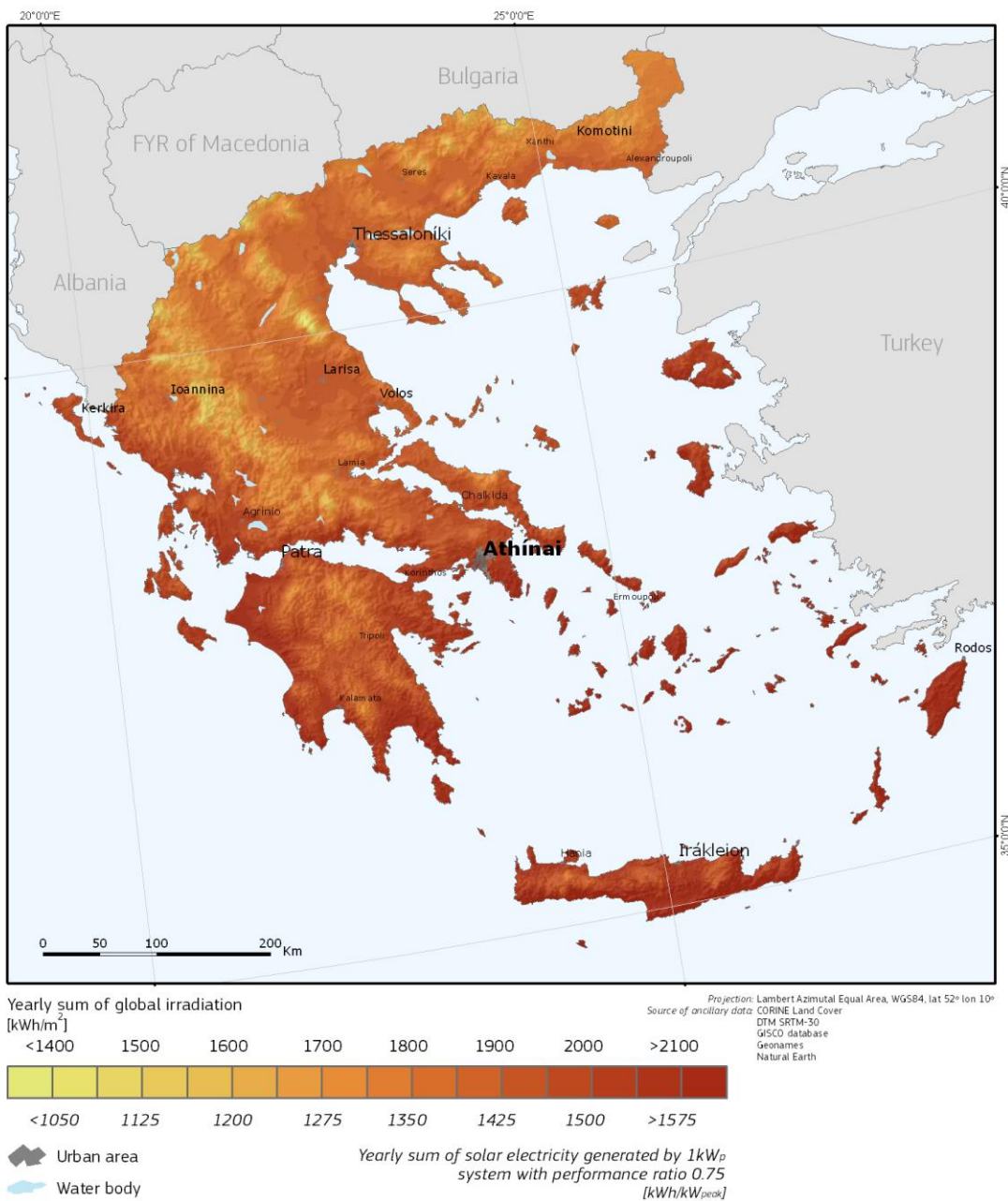


Διάγραμμα 1.1 Παγκόσμιος χάρτης εγκατεστημένης ισχύος προερχόμενης από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας το 2016 [International Energy Agency, 2016]

Global irradiation and solar electricity potential

Optimally-inclined photovoltaic modules

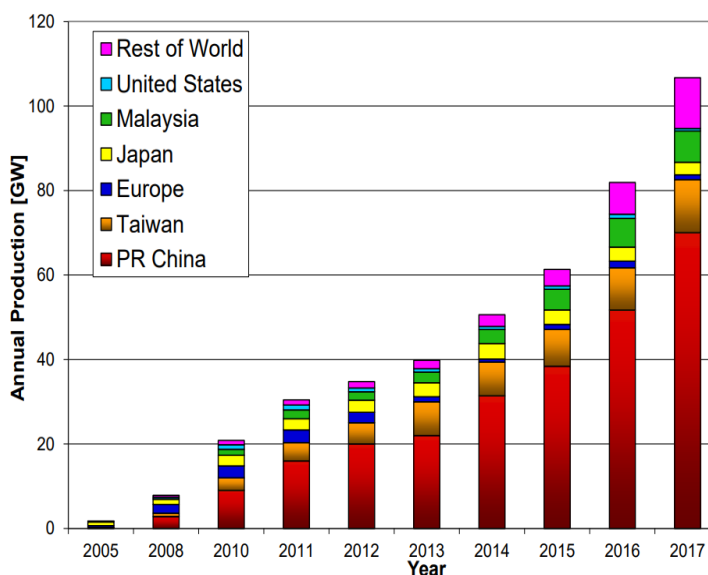
GREECE / ΕΛΛΑΔΑ



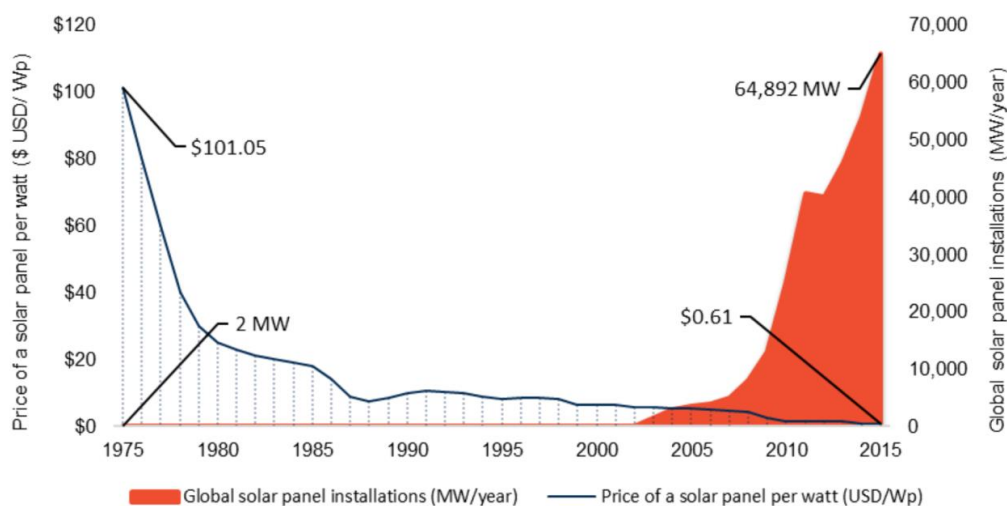
Εικόνα 1.1 Χάρτης ηλιακού δυναμικού της Ελλάδας [PVGIS,2017]

1.2 Η ΦΒ τεχνολογία σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω των ΦΒ συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται μία από τις κυριότερες επιλογές στον τομέα των ΑΠΕ. Παγκόσμιος στόχος είναι να επιτευχθεί μέση ετήσια αύξηση 17% μεταξύ 2017 και 2030. Το 2017 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ ανήλθε στα 460TWh παγκοσμίως, ενέργεια η οποία αντιπροσωπεύει σχεδόν το 2% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [International Energy Agency, 2018]. Γενικά, τα τελευταία χρόνια οι τιμές των ΦΒ μειώνονται και παρατηρείται σημαντική αύξηση στην εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων. Οι μέσες τιμές των ΦΒ αναμένεται να συνεχίσουν να μειώνονται τα επόμενα χρόνια, καθώς ο ανταγωνισμός αυξάνεται. Το 2018 η Κίνα ήταν η χώρα με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ΦΒ ισχύ στον κόσμο, με τις Η.Π.Α. να ακολουθούν δεύτερες [Solar Power Europe].



Διάγραμμα 1.2 Παγκόσμια εγκατεστημένη ΦΒ τεχνολογία 1975-2015
[European Commission, 2017]



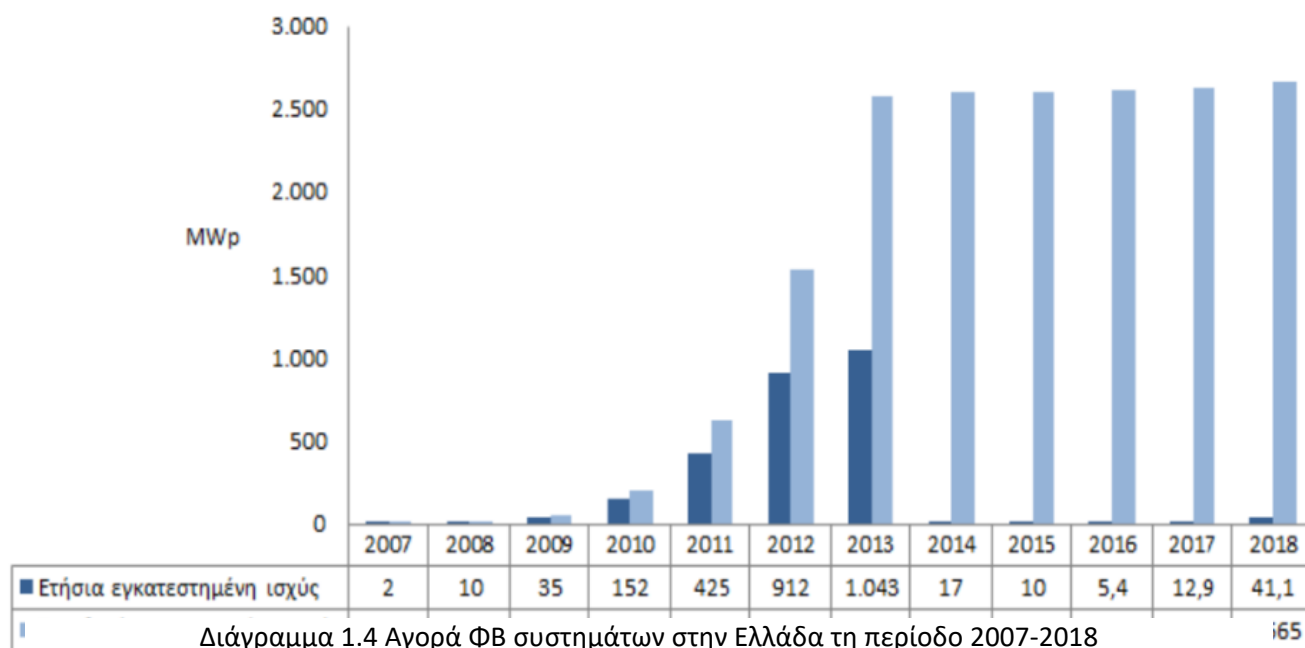
Διάγραμμα 1.3 Παγκόσμια παραγωγή ΦΒ πλαισίων 2005-2017
[European Commission, 2018]

1.3 Η ΦΒ τεχνολογία στην Ελλάδα

Η Ελλάδα θα μπορούσε να διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην εγκατάσταση ΦΒ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένης της υψηλής διαθεσιμότητας ηλιακής ακτινοβολίας, σχεδόν σε ολόκληρη τη χώρα. Τα πρώτα ΦΒ συστήματα λειτούργησαν το 1990, αλλά, η ανάπτυξη των μεγάλων εμπορικών εγκαταστάσεων επιβραδύνθηκε τα πρώτα χρόνια εξαιτίας της συνεχιζόμενης οικονομικής και χρηματοπιστωτικής κρίσης, των μεταβολών στις τιμές τροφοδότησης, της αναδρομικής φορολογίας και των καθυστερήσεων στις πληρωμές των παραγωγών.

Το 2018 τα ΦΒ κάλυψαν το 7% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στη χώρα, κατατάσσοντας την Ελλάδα στη τέταρτη θέση παγκοσμίως (μετά την Ονδούρα, Ιταλία και Γερμανία) στην παραγωγή ενέργειας από ΦΒ σε σχέση με τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν συστήματα ισχύος 44.1MWp και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΦΒ έφτασε τα 2,665MWp, κατάσταση η οποία αποσόβησε την έκλυση περίπου 3.3×10^6 tn στην ατμόσφαιρα [Σύνδεσμος εταιριών ΦΒ, 2019].

Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών



Διάγραμμα 1.4 Αγορά ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα τη περίοδο 2007-2018

[Σύνδεσμος εταιριών ΦΒ, 2019]

1.4 Αντικείμενο μελέτης

Η στροφή προς τις ΑΠΕ και η μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι τεράστιες ενεργειακές απαιτήσεις, η περιβαλλοντική υποβάθμιση και η μείωση των φυσικών πόρων του πλανήτη έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στην έρευνα και ανάπτυξη διαφόρων συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, καθώς και τη βελτίωσή τους.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ συστήματα έχει σημειώσει αλματώδη αύξηση τα τελευταία χρόνια, ειδικότερα σε περιοχές του πλανήτη που το κλίμα χαρακτηρίζεται από υψηλή πυκνότητα ηλιακής ισχύος. Σημαντικό πρόβλημα κατά τη λειτουργία των ΦΒ είναι οι αυξημένες τιμές της θερμοκρασίας των πλαισίων. Οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν σημαντικά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς δυναμικού του ΦΒ στοιχείου. Ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, κατά τους οποίους αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες τα ΦΒ στοιχεία παρουσιάζουν εξαιρετικά μειωμένη απόδοση σε σχέση με την απόδοση που θα παρουσίαζαν σε πρότυπες συνθήκες θερμοκρασίας (25°C) και ίδιας πυκνότητας ηλιακής ισχύος.

Συνεπώς, για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ΦΒ πλαισίων κρίνεται επιτακτική η εύρεση μεθόδου μείωσης της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται. Στη παρούσα εργασία μελετάται η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης (ΥΑΦ) ως μέσο παθητικής ψύξης για τη βελτίωση της απόδοσης των ΦΒ πλαισίων. Πιο αναλυτικά, μελετήθηκαν ΥΑΦ, διαφορετικού σημείου τήξης και θερμοχωρητικότητας το καθένα, τα οποία πληρώθηκαν σε ειδικά δοχεία, που ενσωματώθηκαν στην οπίσθια επιφάνεια τριών ΦΒ πλαισίων. Κάθε δοχείο πληρώθηκε με άλλο ΥΑΦ, ώστε να καθίστανται εφικτή η συγκριτική μελέτη των τριών αυτών πλαισίων μεταξύ τους και με ένα τέταρτο πλαίσιο ίδιου τύπου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως πλαίσιο αναφοράς. Η έρευνα ξεκίνησε το Φεβρουάριο 2019 και ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο 2019. Σκοπός ήταν η εξέταση των θερμικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των τεσσάρων ΦΒ πλαισίων-συστημάτων σε τρεις διαφορετικές εποχές (Φθινόπωρο, Άνοιξη, Καλοκαίρι) και η επιλογή του βέλτιστου για κάθε εποχή.

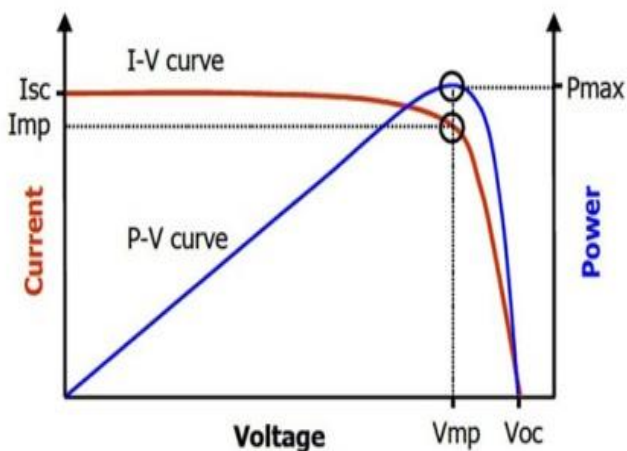
Κεφάλαιο 2ο : Επισκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 ΦΒ τεχνολογία

Η ΦΒ τεχνολογία επιτρέπει την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του ΦΒ στοιχείου. Η φυσική διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αυτή η μετατροπή ονομάζεται ΦΒ φαινόμενο. Η ηλιακή ενέργεια αποτελείται από φωτόνια, τα οποία περιέχουν διάφορα ποσά ενέργειας, που αντιστοιχούν σε διάφορα μήκη κύματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν στο ΦΒ στοιχείο, το οποίο αποτελείται από μία επαφή p-n, είτε θα ανακλαστούν είτε θα απορροφηθούν, είτε θα το διαπεράσουν. Τα φωτόνια εκείνα τα οποία απορροφώνται αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του ΦΒ στοιχείου να μετακινηθούν δημιουργώντας το ηλεκτρικό ρεύμα [Τσούτσος, 2013].

2.1.1 Σημείο Μέγιστης ισχύος

Η ισχύς ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει ένα ΦΒ πλαίσιο με την τάση στα άκρα του. Όταν στα άκρα του συνδέεται μία αντίσταση τότε το ΦΒ διαρρέεται από δεδομένο ρεύμα και εμφανίζει δεδομένη τάση. Τροποποιώντας την τιμή της αντίστασης μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει, καθώς και η τάση του κυκλώματος, με αποτέλεσμα να αλλάζει και η ισχύς. Επομένως, αλλάζοντας την τιμή της αντίστασης ενός ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται η παραγόμενη ενέργεια που αποδίδει, γι αυτό είναι απαραίτητη η προσαρμογή της αντίστασης του ΦΒ πλαισίου, ώστε να γίνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του. Το σημείο εκείνο κατά το οποίο παράγεται η μέγιστη δυνατή ενέργεια ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος [Τσούτσος, 2013].



Διάγραμμα 2.1 Σημείο μέγιστης ισχύος
[Power Electronics]

2.1.2 Απόδοση ΦΒ στοιχείων

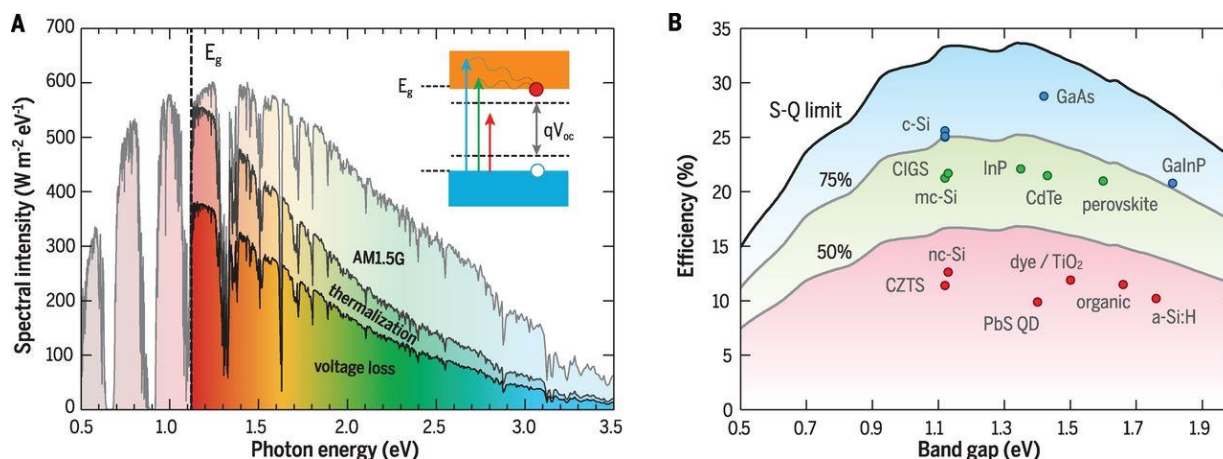
Η απόδοση ενός ΦΒ στοιχείου ορίζεται το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας την οποία μπορεί να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια το ΦΒ στοιχείο. Αποτελεί την συνηθέστερη

χρησιμοποιούμενη παράμετρο για τη σύγκριση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός ΦΒ πλαισίου με κάποιο άλλο. Η αξιολόγηση της απόδοσης πραγματοποιείται σε εργαστηριακό επίπεδο κάτω από πρότυπες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C, πυκνότητα ηλιακής ισχύος 1,000W/m² [Φραγκιαδάκης, 2008].

Η απόδοση ενός ΦΒ εξαρτάται από την πυκνότητα ηλιακής ισχύος, τη θερμοκρασία του πλαισίου, το ημιαγώγιμο υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου, τη ρύπανση, τη γήρανση, τη σκίαση, τις οπτικές απώλειες, τις απώλειες συστήματος και τη διεύθυνση και κατεύθυνση του ανέμου [Φραγκιαδάκης, 2008], πιο αναλυτικά:

➤ Ημιαγώγιμο υλικό

Το ηλιακό φως που φτάνει στη γη αποκτά τελικά μια πολύπλοκη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε απορροφήσεις και σκεδάσεις από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας καθώς τη διασχίζει. Τα φωτόνια τα οποία απορροφούνται από το ΦΒ στοιχείο εξαρτώνται από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγώγιμου υλικού, το οποίο είναι κατασκευασμένο. Κάθε ημιαγώγιμο υλικό έχει διαφορετικό ενεργειακό χάσμα και συνεπώς απορροφά διαφορετική πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 2.2 : Απόδοση και υλικά κατασκευής ΦΒ πλαισίων
[American association for the advancement of science, 2016]

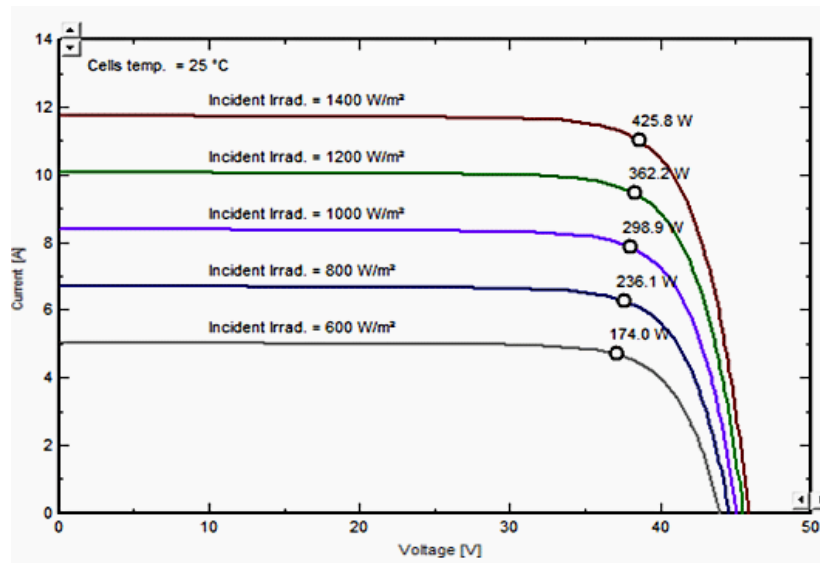
➤ Θερμοκρασία ΦΒ πλαισίου

Η θερμοκρασία είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την απόδοση των ΦΒ συστημάτων. Η τάση των ΦΒ στοιχείων εξαρτάται από τη θερμοκρασία λειτουργίας τους.

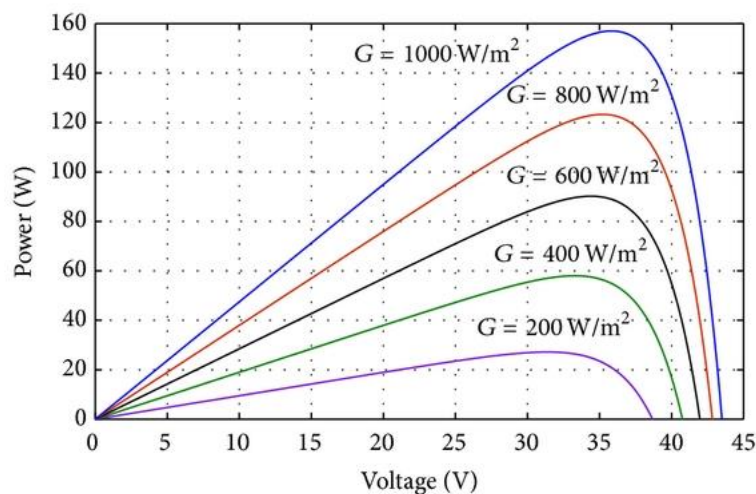
➤ Πυκνότητα ηλιακής ισχύος

Δύο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος μπορούν να προκαλέσουν σε μια κυψέλη διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως, να προκύψει διαφορετική ισχύς. Σε χαμηλές τιμές πυκνότητας ηλιακής ισχύος, η εξάρτηση της απόδοσης με την ηλιακή ακτινοβολία είναι γραμμική, ενώ σε υψηλότερες τιμές αποκλίνει από

τη γραμμική συμπεριφορά. Όσο μεγαλύτερη πυκνότητα ηλιακής ισχύος προσπίπτει πάνω στο ΦΒ πλαίσιο τόσο περισσότερο αποδίδει.



Διάγραμμα 2.3: Επίδραση πυκνότητας ηλιακής ισχύος που προσπίπτει στο ΦΒ πλαίσιο στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά I , V [Solar Power, 2014]



Διάγραμμα 2.4: Επίδραση πυκνότητας ηλιακής ισχύος που προσπίπτει στο ΦΒ πλαίσιο στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά P , V και σημείο μέγιστης ισχύος [Mahdi et al., 2013]

➤ Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να διαδραματίσει σπουδαία σημασία στον καθορισμό της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου. Μεγάλες ταχύτητες έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του, διότι το πλαίσιο ψύχεται μέσω της συμμεταφοράς λόγω της

διαφοράς θερμοκρασίας του με τον άνεμο. Επομένως, όταν ο άνεμος είναι ψυχρότερος από τη θερμοκρασία των πλαισίων επιτυγχάνεται η ψύξη τους, εμφανίζοντας μικρότερες τιμές θερμοκρασίας σε σχέση με εκείνες που θα είχαν σε περίπτωση ίδιας πυκνότητας ηλιακής ισχύος με άπνοια.

➤ Ρύπανση

Σε περίπτωση επικαθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων μεγάλης διαμέτρου-σκόνης, φύλλων, θαλασσινού αλατιού, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών πάνω στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων μειώνεται η παραγωγή ενέργειας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα συναντάται ιδιαίτερα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται στην μπροστινή επιφάνεια των πλαισίων.

➤ Σκίαση

Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων, όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση, κολώνες, καλώδια, κεραίες, είτε σε περιπτώσεις ΦΒ εγκαταστάσεων που η έκταση είναι περιορισμένη και τα πλαίσια αλληλοσκιάζονται κάποια χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι επιπτώσεις της σκίασης είναι αρκετά σημαντικές, δεδομένου ότι τα ΦΒ πλαίσια παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με βάση την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε αυτά. Έστω και ένα ΦΒ στοιχείο να σκιαστεί, επηρεάζει και τα υπόλοιπα στοιχεία, προκαλώντας μειωμένη παραγωγή ενέργειας.

➤ Γήρανση

Εξαιτίας της φθοράς των ΦΒ πλαισίων αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην τιμή της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος.

➤ Απώλειες του ΦΒ συστήματος

Κατά το σχεδιασμό ενός ΦΒ συστήματος είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα ΦΒ πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κλπ.

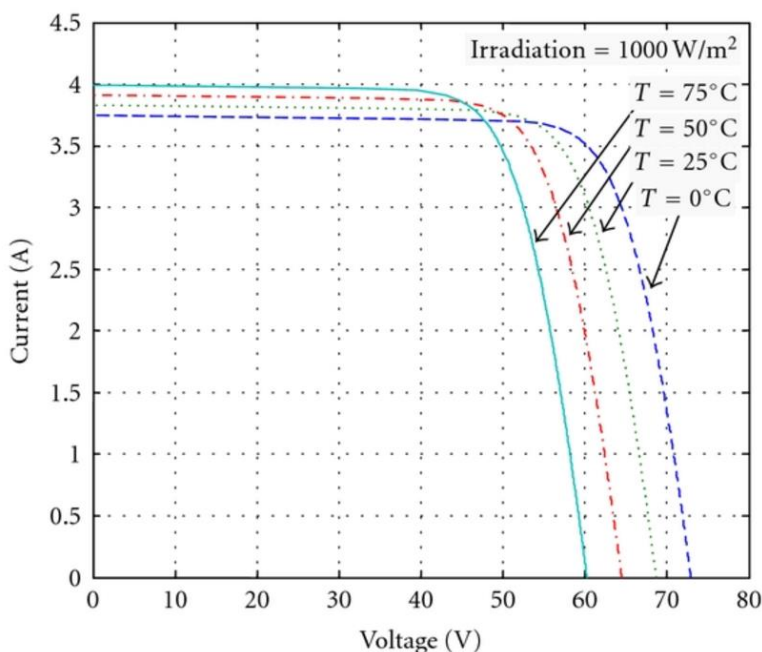
➤ Οπτικές απώλειες

Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοείται η διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του ΦΒ πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανakλαστικό επίστρωμα, υλικό ΦΒ κυτάρων) σε σχέση με την αντίστοιχη ανακλαστικότητα σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς (STC). Η ανακλαστικότητα του ΦΒ πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς, αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στην επιφάνεια του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 60°. Επιπλέον, οπτικές απώλειες παρατηρούνται λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση της ηλιακής κυψέλης μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των 200W/m². Οι οπτικές απώλειες,

αποδεικνύονται μικρής σημασίας για εμπορικά πλαίσια καλής ποιότητας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σημαντικές και υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος.

2.2 Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση ΦΒ

Η θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυξάνεται καθώς προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε αυτό, λόγω μετατροπής μέρους της ενέργειας σε εσωτερική θερμική ενέργεια ημιαγώγιμου υλικού. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει σημαντικά την τάση ανοικτού κυκλώματος του ΦΒ πλαισίου και αυξάνει ελάχιστα την τιμή της έντασης του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Το αποτέλεσμα αυτών των δύο αντίστροφων μεταβολών είναι η μείωση της μέγιστης ισχύς του πλαισίου και συνεπώς, μείωση της απόδοσης του [Φραγκιαδάκης, 2008].



Διάγραμμα 2.5 Επίδραση θερμοκρασίας στη καμπύλη I-V
[Subiyanto et al., 2012]

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο ΦΒ στοιχείο (T_c) κατά τη φάση λειτουργίας του εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Οι κυριότεροι εξ αυτών περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη ταχύτητα του ανέμου και τη πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας καθώς επίσης, τα υλικά κατασκευής του ΦΒ πλαισίου, όπως για παράδειγμα η διαπερατότητα του υαλοπίνακα και η απορροφητικότητα των πλακών. Διάφορες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για το προσδιορισμό της επίδρασης της θερμοκρασίας στην ενεργειακή απόδοση των ΦΒ.

Συγκεκριμένα, οι Skolpaki et al. το 2009 στην Αθήνα απέδειξαν πως τόσο η ηλεκτρική απόδοση όσο και η ισχύς εξαρτώνται γραμμικά από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα ΦΒ στοιχεία και τόνισαν τη σημασία της γνώσης της επίδρασης της θερμοκρασίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ΦΒ, ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα κατάλληλης επιλογής ΦΒ, αναλόγως τις ανάγκες του [Skolpaki et al., 2009].

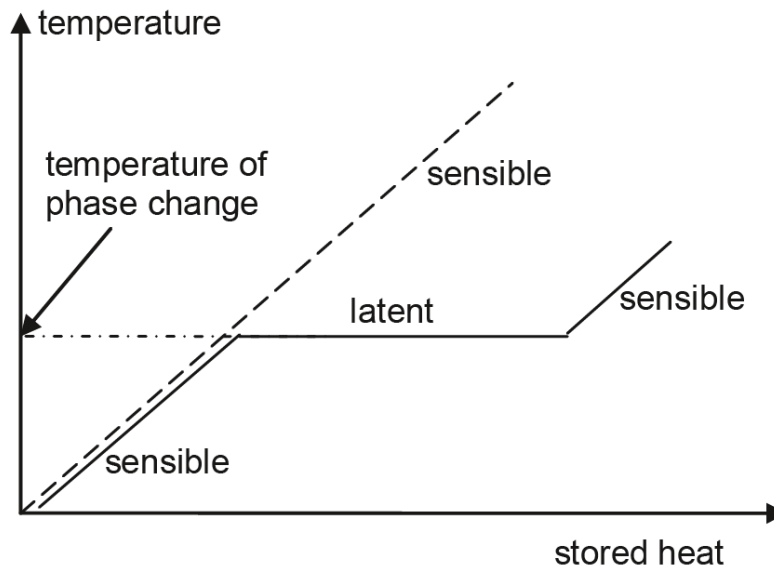
Λίγα χρόνια αργότερα, οι Chander et al. στο Νέο Δελχί, Ινδία πραγματοποίησαν μελέτη για την επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου μονοκρυσταλλικού πυριτίου στην ενεργειακή του απόδοση. Το πείραμα διεξήχθη χρησιμοποιώντας προσομοιωτή ηλιακών κυττάρων με κυμαινόμενες τιμές θερμοκρασίας 25-60°C σε σταθερές εντάσεις φωτός 215-515W/m². Προσδιορίστηκε ότι οι συντελεστές επίδρασης θερμοκρασίας είναι από -0.0022/°C έως -0.0025/ °C, 0.002/°C, -0.0013/°C και -0.002/°C για την τάση ανοικτού κυκλώματος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, τον παράγοντα πλήρωσης και τη μέγιστη ισχύ εξόδου αντίστοιχα [Chander et al., 2015].

Την ίδια χρονιά, πραγματοποιήθηκε έρευνα από τους Savvakis et al. στα Χανιά, Κρήτη σε ένα ΦΒ σύστημα άμορφου μονοκρυσταλλικού πυριτίου λεπτού υμένα, με στόχο την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συστήματος κάτω από Μεσογειακές συνθήκες [Savvakis et al., 2015].

Το 2002 ο Radziemska υλοποίησε πειράματα σε μονοκρυσταλλικό πλαίσιο πυριτίου σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 54°N τις μεσημβρινές ώρες του Ιουνίου και Ιουλίου και απέδειξε πως η ισχύς εξόδου μειώνεται -0,65%/K, ο συντελεστής πλήρωσης -0,2%/K και η απόδοση -0,08%/K [Radziemska, 2003].

2.3 Διεθνείς επιστημονικές αναφορές στη χρήση ΥΑΦ ως μέτρο παθητικής ψύξης ΦΒ

Η επιστημονική κοινότητα προσπαθώντας να επιτύχει την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης των ΦΒ εξετάζει μεθόδους μείωσης της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στα ΦΒ στοιχεία. Τα τελευταία χρόνια, διάφορες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για εύρεση μεθόδων ψύξης. Μία από τις μεθόδους η οποία απασχολεί τον ερευνητικό τομέα παγκοσμίως είναι η χρήση των ΥΑΦ ή PCM (phase change materials) ως τρόπο παθητικής ψύξης των ΦΒ. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η ικανότητα των ΥΑΦ να απορροφήσουν ένα μέρος της θερμότητας που παράγεται στα πλαίσια, αποθηκεύοντας τη, συντελώντας στη μερική μείωση της θερμοκρασίας τους και ταυτόχρονα να αποτελούν οικονομικά ωφέλιμες λύσεις.



Διάγραμμα 2.6 Υλικά λανθάνουσας θερμότητας
[Mehling και Cabeza, 2008]

Μία από τις πιο γνωστές μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας είναι η αλλαγή της θερμικής κατάστασης ενός υλικού αποθήκευσης. Όταν ανεβαίνει ή πέφτει η θερμοκρασία ενός υλικού τότε προστίθεται και αφαιρείται αντίστοιχα κάποιο ποσό θερμότητας από εκείνο και η θερμότητα αυτή ονομάζεται αισθητή θερμότητα (sensible). Ορισμένα υλικά κατά την αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό και αντίθετα, διατηρούν τη θερμοκρασία τους σταθερή, η θερμότητα που παράγεται δεν είναι αισθητή και ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης (latent). Κατά την αλλαγή φάσης των υλικών αυτών, η θερμοκρασία τους σταθεροποιείται πολύ κοντά στο σημείο τήξης και μέχρι την τήξη του υλικού δεν παρατηρείται κάποια θερμοκρασιακή μεταβολή.

Σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν καταγραφεί διαφορετικά υλικά αποθήκευσης θερμότητας, τα οποία έχουν καθιερωθεί με τον όρο ΥΑΦ. Τα υλικά αυτά προσφέρονται για αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας, την οποία αποθηκεύουν ή αποδίδουν κατά την αλλαγή φάσης τους από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο και αντίστροφα. Η θερμότητα παρέχεται ή εξάγεται από το ΥΑΦ χωρίς αλλαγή της θερμοκρασίας, επομένως, τα ΥΑΦ είναι κατάλληλα για τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας κάποια εφαρμογής, όπως για παράδειγμα την εσωτερική θερμοκρασία κάποιου κτιρίου, τη θερμοκρασία κιβωτίων μεταφοράς προϊόντων και τη παθητική ψύξη συστημάτων.

Τα ΥΑΦ συμβάλλουν στη ψύξη των ΦΒ πλαισίων με το εξής τρόπο: καθώς προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία στο ΦΒ και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, αναπτύσσεται θερμότητα στο πλαίσιο, προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του. Μόλις, η θερμοκρασία ανέλθει στο θερμοκρασιακό εύρος τήξης του ΥΑΦ, μέρος της θερμότητας που αναπτύσσεται στο ΦΒ απορροφάται από το ΥΑΦ ως λανθάνουσα θερμότητα, με αποτέλεσμα, να σταθεροποιείται η θερμοκρασία του ΦΒ για κάποιο χρονικό διάστημα. Η σταθεροποίηση αυτή της θερμοκρασίας συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης των ΦΒ.

Διάφορες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο με σκοπό την εξέταση της βιωσιμότητας των ΥΑΦ ως μέτρο παθητικής ψύξης ΦΒ συστημάτων. Οι έρευνες ήταν είτε πειραματικές είτε μέσω προσομοιώσεων σε ειδικά προγραμματιστικά περιβάλλοντα. Ουσιαστικά, έχουν πραγματοποιηθεί συγκρίσεις ΦΒ, στα οποία είχαν ενσωματωθεί υλικά αλλαγής φάσης (ΦΒ ΥΑΦ), με συμβατικά ΦΒ, στα οποία δεν είχε γίνει καμία παρέμβαση (ΦΒ ΑΝΑΦ).

Στο εξαιρετικά θερμό περιβάλλον των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων οι Hasan et al. μελέτησαν για ολόκληρο το ημερολογιακό έτος 2017 τη θερμική και ηλεκτρική συμπεριφορά ενός ΦΒ ΥΑΦ συστήματος πληρωμένο με PCM RT 42 της Rubitherm. Προέκυψε αύξηση στην απόδοση του ΦΒ ΥΑΦ συστήματος κατά μέσο όρο 5.9% σε ετήσια βάση και μείωση της θερμοκρασίας στο σημείο αιχμής 10.5°C. Το σύστημα θεωρήθηκε αποτελεσματικό και οικονομικά εφικτό για τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες. [Hasan et al., 2017]

Το ίδιο έτος στη Σαγκάη, Κίνα οι Zhao et al. πραγματοποίησαν για ολόκληρο το ημερολογιακό έτος 2017 πειραματική μελέτη, στην οποία πραγματοποιήθηκε σύγκριση τεσσάρων ΦΒ ΥΑΦ πληρωμένα με τα PCM 15, PCM 20, PCM 25 και PCM 30 της Rubitherm και ενός ΦΒ ΑΝΑΦ. Διαπιστώθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ με την υψηλότερη θερμοκρασία τήξης (PCM 30), λειτουργούσε συνήθως καλύτερα το καλοκαίρι, αλλά εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας το χειμώνα, καθώς δεν τηκόταν σε κρύες μέρες, γεγονός που οδηγούσε ακόμη και στην υψηλότερη θερμοκρασία του ΦΒ ΥΑΦ 30 από αυτή του ΦΒ ΑΝΑΦ. Για τα ΦΒ ΥΑΦ με χαμηλή περιοχή θερμοκρασίας τήξης (ΥΑΦ 15 και 20), αντιστρόφως, λειτουργούσαν καλύτερα το χειμώνα, αλλά έλιωναν εύκολα και δεν μπορούσαν να ανακτηθούν σε στερεή κατάσταση το καλοκαίρι λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας τήξης [Zhao et al., 2017]

Ένα χρόνο αργότερα, στις 18 και 19 Αυγούστου 2018, οι ίδιοι ερευνητές και με τη βοήθεια ενός άλλου μελέτησαν ξανά στη Σαγκάη την αποδοτικότητα των ΥΑΦ ως σύστημα παθητικής ψύξης των ΦΒ. Το μελετώμενο ΥΑΦ ήταν το κερί παραφίνης με θερμοκρασιακό εύρος βρασμού 35-40°C. Το συμπέρασμα ήταν ότι το ΦΒ ΥΑΦ μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία λειτουργίας ενός πλαισίου έως και 23°C σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ [Li et al., 2019]

Οι Zhao et al. πραγματοποίησαν μία επιπλέον αξιολογική έρευνα στο ίδιο μέρος. Σκοπός τους ήταν η σύγκριση πέντε διαφορετικών ΦΒ, ενός ΦΒ ΑΝΑΦ και τεσσάρων ΦΒ ΥΑΦ. Και στα τέσσερα ΦΒ ΥΑΦ είχε τοποθετηθεί στο οπίσθιο μέρος κερί παραφίνης RT 35 HC της Rubitherm, όμως το πάχος του ΥΑΦ σε κάθε ΦΒ διέφερε. Τα επιλεγμένα πάχη ήταν 10mm, 20mm, 30mm και 40mm. Η έρευνα ανέδειξε πως μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος ΥΑΦ δεν παρατηρείται αύξηση της απόδοσης του ΦΒ ΥΑΦ και το ΥΑΦ-30mm και ΥΑΦ-40mm παρουσίαζαν σχεδόν ισοδύναμες τιμές ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον παρατηρήθηκε μείωση έως και 24.9°C μέσω της προσθήκης ΥΑΦ και ως εκ τούτου αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 11.02%. Η οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι τα ΦΒ ΥΑΦ παρά την αυξημένη απόδοση την οποία παρουσίαζαν σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ, δεν είναι οικονομικά βιώσιμα, εξαιτίας της υψηλής τιμής αγοράς της παραφίνης [Zhao et al., 2018]

Οι Hasan et al. ανέλυσαν τη συμπεριφορά ενός ΦΒ ΥΑΦ μίγματος καπρικού-παλμιτικού οξέος και ενός ΦΒ ΥΑΦ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σε δύο εντελώς διαφορετικά κλίματα, στο Δουβλίνο, Ιρλανδία και στο Βεχάρι, Πακιστάν. Η έρευνα διήρκεσε 17 και 15 ημέρες αντίστοιχα και αποδείχθηκε πως το μίγμα καπρικού-παλμιτικού οξέος μειώνει περισσότερο τη θερμοκρασία των ΦΒ ΥΑΦ και στις δύο περιοχές μελέτης και ότι τα ΦΒ ΥΑΦ είναι πιο αποτελεσματικά στο θερμό κλίμα του Βεχάρι, καθιστώντας και τα δύο ΦΒ ΥΑΦ οικονομικά αποδοτικότερα σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ. Αντίθετα, στο ψυχρό κλίμα του Δουβλίνου η βελτίωση της απόδοσης λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας

δεν ήταν οικονομικά ωφέλιμη σε σχέση με το κόστος κατασκευής των ΦΒ ΥΑΦ [Hasan et al., 2015].

Το 2014 οι ερευνητές Smith et al. Προσομοίωσαν ποικιλία ΦΒ ΥΑΦ χρησιμοποιώντας τα μετεωρολογικά στοιχεία διαφόρων περιοχών ανά τον κόσμο. Απέδειξαν πως τα συστήματα ΦΒ ΥΑΦ μπορούν να περιορίσουν την ταχεία αύξηση των θερμοκρασιών των ΦΒ κατά τη διάρκεια της ημέρας, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα τους. Οι βελτιώσεις της παραγωγής ενέργειας σε ορισμένες τοποθεσίες ήταν άνω του 6% σε ετήσια βάση σε σχέση με τα ΦΒ ΑΝΑΦ. Τα συστήματα ΦΒ ΥΑΦ παρείχαν τις μεγαλύτερες βελτιώσεις στην Αφρική, τη Νότια Ασία, την Αυστραλία και τη Νότια και Κεντρική Αμερική, γενικά σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας και συχνές υψηλές θερμοκρασίες όλο το χρόνο, με τις τροπικές περιοχές να αναδεικνύονται ως οι πιο ελπιδοφόρες [Smith et al., 2014].

Μία ακόμα σημαντική μελέτη προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε από τους Khanna et al. για τα PCM RT 18, PCM 25 και PCM 35 HC της εταιρίας Rubitherm για διάφορα κλίματα σε ολόκληρο το πλανήτη. Προέκυψε βελτίωση της ηλεκτρικής απόδοσης των ΦΒ ΥΑΦ σε θερμά κλίματα, η οποία ανέρχεται στο 12.1% και σε ψυχρά αγγίζει το 6.7% σε σχέση με τα ΦΒ ΑΝΑΦ και αντίστοιχα, για κλίματα με ισχυρούς ανέμους η βελτίωση υπολογίστηκε 5.3% και για κλίματα με μικρότερους ανέμους 10.5% [Khanna et al., 2018].

Οι Machniewicz et al. στη Λοτζ της Πολωνίας εξέτασαν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός ΦΒ ΥΑΦ συστήματος κυψέλης αλουμινίου και απέδειξαν πως η χρήση ΥΑΦ ευθύνεται μόνο για μία μικρή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Η μέγιστη αύξηση της απόδοσης ισούται με 10%, ενώ ο μέσος όρος της κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ανέρχεται στο 0.25%, ένα πάρα πολύ μικρό ποσοστό [Machniewicz et al., 2015].

Το 2014 για μία εβδομάδα, από 14 έως 21 Οκτωβρίου στη Λιουμπλιάνα, Σλοβενία οι Stropnik et al. μελέτησαν ένα ΦΒ PCM RT 28 HC της Rubitherm και ένα ΦΒ ΑΝΑΦ. Η σύγκριση έγινε μέσω πειραματικών δεδομένων και μέσω προσομοίωσης σε κατάλληλο λογισμικό. Προσδιορίστηκε πως η μέγιστη πειραματική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ΦΒ ήταν 35.6°C, η μέση αύξηση της αποτελεσματικότητας του ΦΒ ΥΑΦ ήταν από 1.1 έως 2.8% και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν υψηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για 7.3% σε περίοδο ενός έτους [Stropnik et al., 2016].

Ακόμα παλαιότερα, τον Ιούλιο και Αύγουστο του 2013, για 32 ημέρες οι Japs et al. στο Πάντερμπορν της Γερμανίας πραγματοποίησαν πειραματική έρευνα σε τρία ΦΒ. Το ένα αποτέλεσε ΦΒ ΑΝΑΦ, στο δεύτερο είχε ενσωματωθεί PCM RT 28 HC της Rubitherm και στο τρίτο πάλι PCM RT 28 HC, αλλά ενισχυμένο με γραφίτη, ώστε να έχει μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ΦΒ ΥΑΦ παρουσίαζαν μεγαλύτερη απόδοση από το ΦΒ ΑΝΑΦ και πως το ενισχυμένο ΦΒ ΥΑΦ με γραφίτη ήταν πιο κατάλληλο από το μη ενισχυμένο ΦΒ ΥΑΦ [Japs et al., 2016].

Ερευνητές	Περιοχής μελέτης	Μελετώμενα ΥΑΦ	Συμπεράσματα
Πειραματικές μελέτες			
Hasan et al.	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	RT 42 Rubitherm	Αύξηση απόδοσης ΦΒ ΥΑΦ κατά μέσο όρος 5.9% σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ
Zhao et al.	Σανγκάη	15, 20, 25 και 30 Rubitherm	Κάθε εποχή λειτουργούσε διαφορετικό ΦΒ βέλτιστα
Li et al.	Σανγκάη	Κερί παραφίνης (35°C - 40°C)	Μείωση θερμοκρασίας ΦΒ ΥΑΦ έως και 23°C σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ
Zhao et al.	Σανγκάη	RT 35 Rubitherm τεσσάρων διαφορετικών παχών (10mm, 20mm, 30mm και 40mm)	Παρά την αυξημένη απόδοση των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ δεν είναι οικονομικά βιώσιμα
Hasan et al.	Πακιστάν	Μίγμα καπρικού-παλμιτικού οξέος και $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Οικονομικά αποτελεσματική η χρήση των ΦΒ ΥΑΦ
Hasan et al.	Δουβλίνο	Μίγμα καπρικού-παλμιτικού οξέος και $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Μη οικονομικά αποτελεσματική η χρήση των ΦΒ ΥΑΦ
Machniewicz et al.	Πολωνία	Κυψέλη αλουμινίου	Μέσος όρος βελτίωσης της απόδοσης του ΦΒ ΥΑΦ ήταν 0.25%, πάρα πολύ μικρό ποσοστό
Stropnik et al.	Σλοβενία	RT 28 HC Rubitherm	Η μέση αύξηση της απόδοσης του ΦΒ ΥΑΦ ήταν από 1.1 έως 2.8% σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ
Japs et al	Γερμανία	RT 28 HC και RT 28 HC ενισχυμένο με γραφίτη	Το ΦΒ ΥΑΦ παρουσίαζε μεγαλύτερη απόδοση από το ΦΒ ΑΝΑΦ και το ενισχυμένο ΦΒ ΥΑΦ με γραφίτη ήταν πιο κατάλληλο από το μη ενισχυμένο ΦΒ ΥΑΦ
Μελέτες προσομοίωσης			
Smith et al.	Διάφορες φορές ανά τον κόσμο	Μεγάλη ποικιλία	Σε περιοχές με θερμό κλίμα τα ΦΒ ΥΑΦ είναι βέλτιστα, ενώ σε περιοχές με ψυχρό κλίμα δε συμφέρουν οικονομικά είτε δεν παρουσιάζουν τη μέγιστη απόδοση σε σχέση με τα ΦΒ ΑΝΑΦ
Khanna et al.	Διάφορες φορές ανά τον κόσμο	RT 18, 25 και 35 HC Rubitherm	Προέκυψε βελτίωση της ηλεκτρικής απόδοσης των ΦΒ ΥΑΦ σε θερμά κλίματα, η οποία ανέρχεται στο 12.1% και σε ψυχρά αγγίζει το 6.7% σε σχέση με τα ΦΒ ΑΝΑΦ και αντίστοιχα, για κλίματα με ισχυρούς ανέμους η βελτίωση υπολογίστηκε 5.3% και για κλίματα με μικρότερους ανέμους 10.5%.
Stropnik et al.	Σλοβενία	RT 28 HC Rubitherm	Υψηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο 7.3%

Πίνακας 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφικών αναφορών στη χρήση ΥΑΦ ως μέτρο ψύξης ΦΒ

Κεφάλαιο 3ο : Περιγραφή πειραματικής μελέτης

3.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης

3.1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στους χώρους του Πολυτεχνείου Κρήτης, στην περιοχή του Ακρωτηρίου του Δήμου Χανίων και εντάσσεται στις ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου «Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων». Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης έλαβε χώρα συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης ΦΒ πλαισίων, στα οποία είχαν ενσωματωθεί ΥΑΦ με διαφορετικά χαρακτηριστικά και λειτουργούσαν ως μέσα παθητικής ψύξης. Για του σκοπούς του πειράματος κατασκευάστηκε ειδική πειραματική διάταξη η οποία αποτελούνταν από:



Διάγραμμα 3.1 Εξεταζόμενη φωτοβολταϊκή διάταξη

- Τέσσερα ΦΒ ονομαστικής ισχύος 10W το κάθε ένα
- Ειδικές κατασκευές μεταλλικών δοχείων
- Τρία διαφορετικά ΥΑΦ (PCM RT 27, PCM RT 31 και PCM RT 35 HC)
- Ειδική βάση τοποθέτησης των ΦΒ υπό κλίση 30°

3.1.2 Γεωγραφική θέση ΦΒ διάταξης

Τα ΦΒ πλαίσια ήταν τοποθετημένα δίπλα στο εργαστήριο «Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων», το οποίο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Πολυτεχνείου Κρήτης, βόρεια του παρκινγκ των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του Πολυτεχνείου Κρήτης είναι 35° 31' 45'' Βόρεια και 24° 04' 07'' Ανατολικά και το υψόμετρο περίπου 130m.



Εικόνα 3.1 : Δορυφορική Απεικόνιση Πολυτεχνείου Κρήτης
[Google Earth]

3.1.3 Σκοπός μελέτης ΦΒ διάταξης

Κύριος λόγος της μειωμένης απόδοσης των ΦΒ πλαισίων είναι η θερμοκρασία, η οποία αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία τους, γι' αυτό κρίνεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης μέσων τα οποία θα ελαχιστοποιούν την θερμοκρασία των ΦΒ πλαισίων και θα αυξάνουν την απόδοσή τους. Στη παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός ήταν η αξιολόγηση της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς τεσσάρων ΦΒ πλαισίων, στα τρία εκ των οποίων είχαν ενσωματωθεί ΥΑΦ με στόχο την παθητική ψύξη τους. Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητη η παρατήρηση της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στη σύγκριση των ΦΒ πλαισίων και στη ποσοτικοποίηση των ενεργειακών και θερμοκρασιακών διαφορών τους. Τέλος, απαντήθηκε το ερώτημα εάν τα ΥΑΦ είναι δυνατόν να αποτελέσουν αποτελεσματική μέθοδο παθητικής ψύξης για ΦΒ πλαίσια τα οποία είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα, όπως ο νομός Χανίων.

3.2 Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό, το οποίο στους ορεινούς όγκους τείνει να διαφοροποιηθεί παρουσιάζοντας χαρακτηριστικά ηπειρωτικού τύπου. Υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από περιοχή σε περιοχή. Η ενδοχώρα έχει γενικά θερμότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες, οι νότιες ακτές είναι θερμότερες το χειμώνα και το καλοκαίρι σε σχέση με τη βόρεια πλευρά του νησιού.

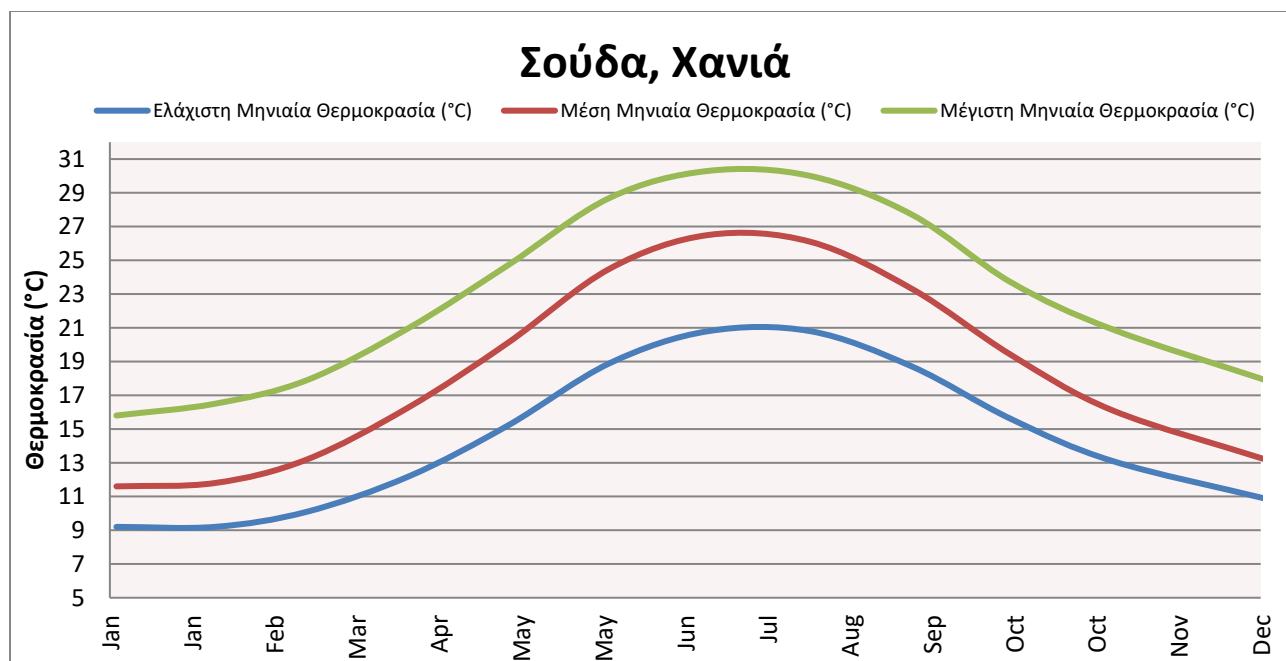
Η θέση της Κρήτης στην ανατολική Μεσόγειο την καθιστά προνομιούχο σχετικά με την ηπιότητα του κλίματος και των μεταβολών του. Ο χειμώνας ξεκινά συνήθως από τα μέσα Δεκεμβρίου, είναι ήπιος με ψυχρότερους μήνες τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο και με πολλές βροχοπτώσεις να εκδηλώνονται κυρίως στο δυτικό τμήμα του νησιού. Οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες στα πεδινά τμήματα, αλλά στις ορεινές περιοχές η παρουσία του χιονιού είναι συχνή. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά και οι βροχοπτώσεις σπάνιες.

Τα κλιματολογικά δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται, προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στη Σούδα των Χανίων (γεωγραφικό μήκος: 24.145, γεωγραφικό πλάτος: 35.529, ύψος: 148m). Ουσιαστικά πρόκειται για μέσες τιμές καταγεγραμμένων θερμοκρασιών, υγρασίας, ανέμου και βροχοπτώσεων των τελευταίων δεκαετιών [Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019].

	Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)
Ιανουάριος	9.2	11.6	15.8
Φεβρουάριος	9.2	11.8	16.5
Μάρτιος	10.1	13.2	17.9
Απρίλιος	12.2	16.3	21.0
Μάιος	15.2	20.1	24.7
Ιούνιος	18.9	24.5	28.7
Ιούλιος	20.8	26.5	30.3
Αύγουστος	20.8	26.1	30.0
Σεπτέμβριος	18.7	23.3	27.7
Οκτώβριος	15.6	19.4	23.7
Νοέμβριος	13.1	16.1	20.9
Δεκέμβριος	10.8	13.1	17.8

Πίνακας 3.1 Μέσες, ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιοχής της Σούδας Χανίων

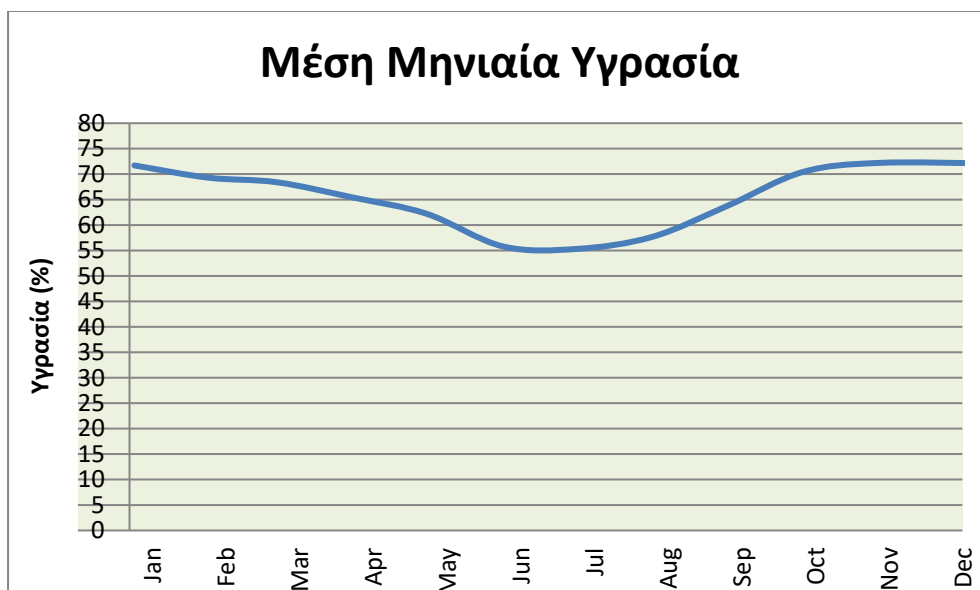
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]



Διάγραμμα 3.2 Μέσες, ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]

	Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)
Ιανουάριος	71.7
Φεβρουάριος	69.3
Μάρτιος	68.4
Απρίλιος	65.4
Μάιος	62.2
Ιούνιος	55.8
Ιούλιος	55.3
Αύγουστος	57.7
Σεπτέμβριος	63.9
Οκτώβριος	70.4
Νοέμβριος	72.2
Δεκέμβριος	72.1

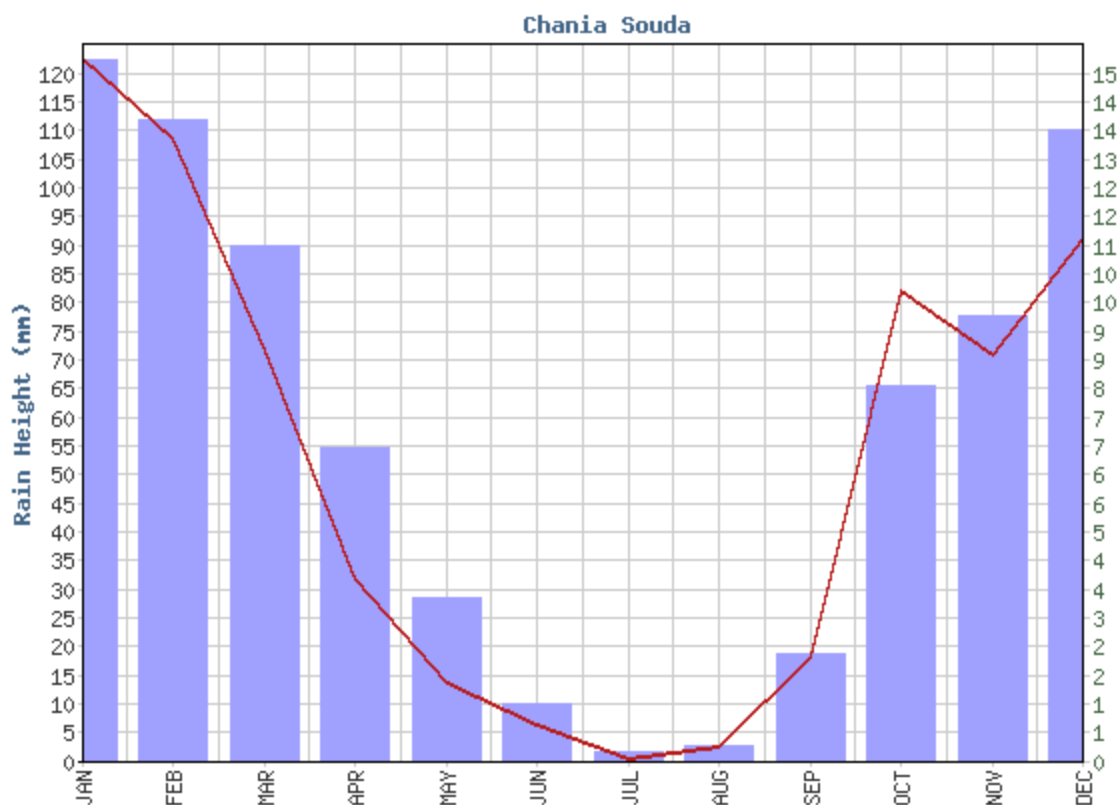
Πίνακας 3.2 Μηνιαία ποσοστά υγρασίας της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]



Διάγραμμα 3.3 Μηνιαία ποσοστά υγρασίας της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]

	Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	Συνολικές Μέρες Βροχής
Ιανουάριος	122.9	15
Φεβρουάριος	108.6	13.7
Μάρτιος	71.9	11
Απρίλιος	31.9	6.7
Μάιος	13.9	3.5
Ιούνιος	6.6	1.2
Ιούλιος	0.5	0.2
Αύγουστος	2.7	0.3
Σεπτέμβριος	18.2	2.3
Οκτώβριος	82.1	8.0
Νοέμβριος	70.9	9.5
Δεκέμβριος	91.3	13.5

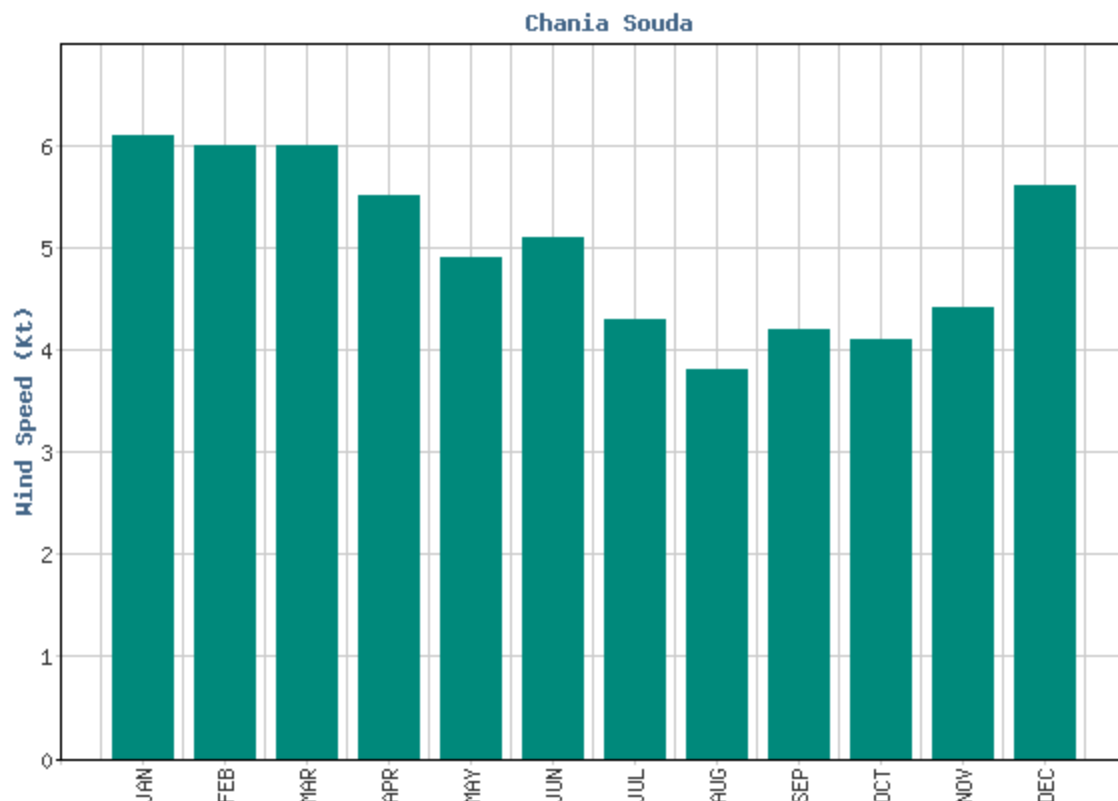
Πίνακας 3.3 Μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]



Διάγραμμα 3.4 Μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής της Σούδας Χανίων,
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]

	Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμου	Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμου (kt)
Ιανουάριος	N	6.1
Φεβρουάριος	N	6.0
Μάρτιος	ΒΔ	6.0
Απρίλιος	ΒΔ	5.5
Μάιος	ΒΔ	4.9
Ιούνιος	ΒΔ	5.1
Ιούλιος	ΒΔ	4.3
Αύγουστος	ΒΔ	3.8
Σεπτέμβριος	ΒΔ	4.2
Οκτώβριος	ΒΔ	4.1
Νοέμβριος	N	4.4
Δεκέμβριος	N	5.6

Πίνακας 3.4 Μηνιαία ένταση και διεύθυνσης ανέμου της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]



Διάγραμμα 3.5 Μηνιαία ένταση ανέμου της περιοχής της Σούδας Χανίων
[Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019]

3.3 Περιγραφή εξοπλισμού ΦΒ διάταξης

3.3.1 ΦΒ πλαίσια

Τα ΦΒ πλαίσια είναι μονοκρυσταλλικά πλαίσια κατασκευασμένα από την εταιρία Luxor, τύπου Solo Line LX-10M και ονομαστικής ισχύος 10W. Τα ΦΒ καλύπτουν τις υψηλότερες προδιαγραφές ποιότητας, αντοχής και ενεργειακής απόδοσης. Τα ΦΒ πλαίσια της σειράς Solo Line είναι κατάλληλα για την αξιοποίηση τους σε ποικίλες εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά των πλαισίων παρουσιάζονται στο πίνακα 3.1 και 3.2.

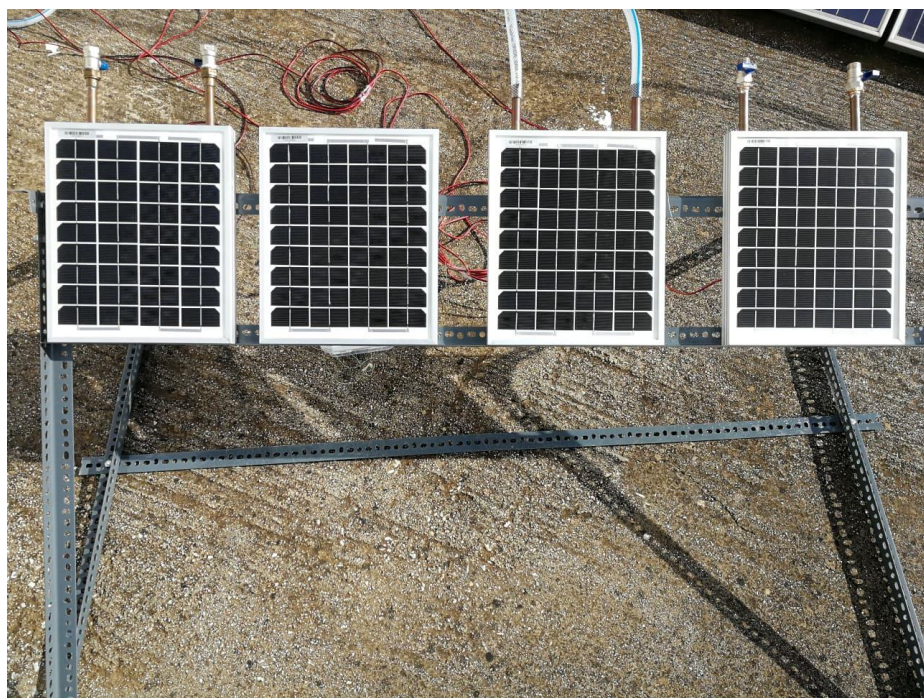
Τύπος κυψέλης	Μονοκρυσταλλικό
Κατασκευαστής	Luxor
Μέγιστη ισχύς ή ισχύς αιχμής (P_{mpp})	10W
Αριθμός κυψελίδων	4x9
Τάση σημείου μέγιστης ισχύος (V_{mpp})	17.39V
Ένταση σημείου μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	0.58A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc})	21.60V

Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	0.64A
Πλάτος	353mm
Ύψος	35mm
Μήκος	293mm
Μάζα	1.5kg
Επιφάνεια πλαισίου (A)	0.103m ²
Εγγύηση	10 years
Περιοχή κατασκευής	Γερμανία
Ανοχή ισχύος	0/+5%
Μέγιστη τάση συστήματος	150V

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων

Συντελεστής θερμοκρασίας (P)	-0.49%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας (I)	0.05%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας (V)	-0.35%/°C

Πίνακας 3.6 Επίδραση θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ΦΒ



Εικόνα 3.2 ΦΒ πλαίσια πειραματικής μελέτης

3.3.2 ΥΑΦ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.3, με τον όρο ΥΑΦ ορίζονται τα υλικά τα οποία μπορούν να αποθηκεύσουν και να ελευθερώσουν μεγάλα ποσά ενέργειας, ως αποτέλεσμα της αλλαγής φάσης στη μοριακή τους δομή. Συνοπτικά, πρόκειται για υλικά λανθάνουσας θερμότητας τα οποία χρησιμοποιούν χημικούς δεσμούς για να αποθηκεύσουν και έπειτα, να απελευθερώσουν θερμότητα. Η αλλαγή φάσης ενός υλικού από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο ακολουθείται από ταυτόχρονη ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον, η οποία είναι αποτέλεσμα της αναδιάταξης της μοριακής τους κατάταξης. Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τρία διαφορετικά ΥΑΦ της εταιρίας Rubitherm, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Πιο συγκεκριμένα, στα ΦΒ πλαίσια ενσωματώθηκαν τα PCM RT 27, PCM RT 31 και PCM RT 35 HC, των οποίων η θερμοκρασία τήξης τους είναι 27°C, 31°C και 35°C, αντίστοιχα. Η θερμοκρασία τήξης καθώς και η θερμοχωρητικότητα των ΥΑΦ αποτελούν τα δύο κυριότερα χαρακτηριστικά δυνατότητας αποθήκευσης θερμότητας. Ως θερμοχωρητικότητα ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα, όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά 1°C. Όσο μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα έχει ένα υλικό τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας είναι ικανό να απορροφήσει.

ΥΑΦ	RT 27	RT 31	RT 35 HC
Θερμοκρασιακή περιοχή τήξης (°C)	25-28	27-33	34-36
Κύρια θερμοκρασία τήξης (°C)	27	31	35
Θερμοκρασιακή περιοχή πήξης (°C)	28-25	33-27	36-34
Κύρια θερμοκρασία πήξης (°C)	27	31	35
Θερμοχωρητικότητα [±7,5%] (KJ/Kg)	179	165	240
Ειδική θερμοχωρητικότητα (KJ/KgK-1)	2	2	2
Πυκνότητα σε στερεή φάση (kg/L)	0.88	0.88 [στους 15°C]	0.88 [στους 25°C]
Πυκνότητα σε υγρή φάση (kg/L)	0.76	0.76 [στους 45°C]	0.77 [στους 40°C]
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK-1)	0.2	0.2	0.2
Ποσοστιαία αύξηση όγκου (%)	12.5	12.5	12
Σημείο ανάφλεξης (°C)	146	157	177
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (°C)		50	70

Πίνακας 3.7 Κύρια χαρακτηριστικά ΥΑΦ



Εικόνα 3.3 ΥΑΦ της εταιρίας Rubitherm
[Rubitherm technologies GmbH]

3.3.3 Δοχεία ενσωμάτωσης ΥΑΦ

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά δοχεία, στα οποία εισήχθησαν τα ΥΑΦ και ενσωματώθηκαν στην οπίσθια επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων Luxor Solo Line LX-10M. Τα μεταλλικά δοχεία είχαν κατασκευαστεί από κατάλληλο υλικό (με υψηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας) ώστε να επιτρέπεται η μετάδοση θερμότητας από το ΦΒ πλαίσιο στο ΥΑΦ.

3.4 Χωροθέτηση ΦΒ διάταξης

Για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των ΦΒ πλαισίων είναι απαραίτητη η βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα εξεταζόμενα ΦΒ πλαίσια δε διαθέτουν μηχανισμό παρακολούθησης του ηλίου, δηλαδή η κλίση και ο προσανατολισμός τους διατηρούνται συνεχώς σταθερά. Γενικά, αναλόγως τη περιοχή τοποθέτησης των ΦΒ πλαισίων καθορίζεται και ο βέλτιστος προσανατολισμός και η κλίση τους. Πιο συγκεκριμένα, για το Βόρειο ημισφαίριο τα ΦΒ πλαίσια τοποθετούνται με κατεύθυνση προς το Νότο, ενώ στο Νότιο ημισφαίριο προς το Βορρά. Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Βόρειο ημισφαίριο, επομένως, επιλέχθηκε νότια κατεύθυνση. Η επιλογή της κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, καθώς, επίσης και από τη περίοδο χρήσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [ΚΑΠΕ, 2009]. Για μια ΦΒ εγκατάσταση, της οποίας η ενέργεια αξιοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, η κλίση καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Η βέλτιστη κλίση για τη γεωγραφική περιοχή των Χανίων είναι 30° , επομένως, ο σχεδιασμός της βάσης τοποθέτησης των υπό μελέτη ΦΒ πλαισίων υλοποιήθηκε ώστε, εκείνα να βρίσκονται υπό κλίση 30° . Επιπλέον, πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός ΦΒ πλαισίου είναι η σκίαση. Όταν ένα ΦΒ πλαίσιο σκιάζεται εν μέρει παράγει χαμηλότερο ρεύμα και συνεπώς, λιγότερη ενέργεια. Εξαιτίας αυτού του παράγοντα, επιλέχθηκε με μεγάλη προσοχή κατάλληλο σημείο στον εξωτερικό χώρο του εργαστηρίου «Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων» για την εγκατάσταση της ΦΒ διάταξης, ώστε η διάταξη να μην σκιάζεται κατά τη διάρκεια μίας τυπικής ημέρας καθ' όλη την περίοδο εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας.

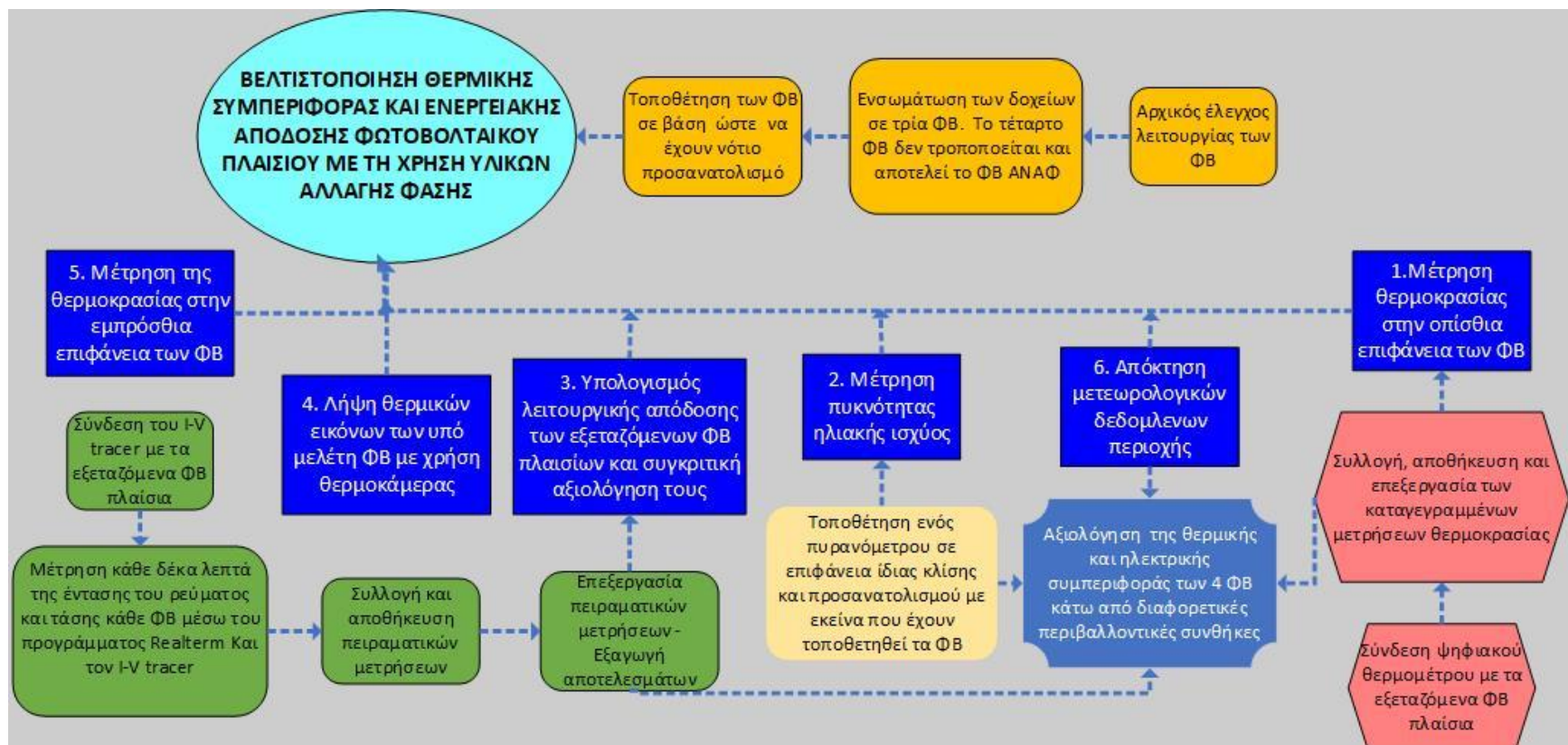
Κεφάλαιο 4ο : Μεθοδολογία μελέτης

4.1 Σύντομη περιγραφή μεθοδολογίας πειραματικής μελέτης

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στην περιγραφή των διαφόρων φάσεων της πειραματικής διαδικασίας και της επεξεργασίας των δεδομένων που προέκυψαν κατά την περίοδο υλοποίησης της.

Η πειραματική διαδικασία εξελίχθηκε μέσω της συστηματικής παρακολούθησης των κύριων παραμέτρων που καθορίζουν την θερμική και ενεργειακή συμπεριφορά ενός ΦΒ πλαισίου, όπως είναι η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία της οπίσθιας και εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ πλαισίων και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.

Με κατάλληλη επεξεργασία των παραπάνω καταγεγραμμένων δεδομένων προσδιορίστηκε η απόδοση των ΦΒ πλαισίων και στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σύγκριση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς τους. Στην εικόνα 4.1. παρουσιάζεται υπό μορφή διαγράμματος ροής η μεθοδολογία πειραματικής αξιολόγησης, η οποία εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 4.1 Μεθοδολογία πειραματικής μελέτης

4.2 Πειραματική διαδικασία

Η περίοδος εκτέλεσης του πειράματος είχε διάρκεια έξι μηνών (12 Φεβρουαρίου 2019 – 12 Ιουλίου 2019) και κατά το διάστημα αυτό ερευνήθηκαν συνολικά πενήντα ημέρες. Τα δεδομένα τα οποία καταγράφηκαν κατά τη πειραματική διαδικασία ήταν:

- Πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας (Gt)
- Ένταση ρεύματος (I)
- Τάση ρεύματος ΦΒ (V)
- Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ (T_{mb})
- Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ (T_{mf})
- Λήψη εικόνας από θερμοκάμερα

4.2.1 Έλεγχος ηλεκτρικής και θερμικής συμπεριφοράς ΦΒ πλαισίων χωρίς την ενσωμάτωση των ΥΑΦ

Τα εξεταζόμενα ΦΒ πλαίσια ήταν όμοιου τύπου και ονομαστικής ισχύος, ώστε υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες να αναμένεται όμοια παραγωγή ισχύος. Όμως, επειδή η συγκεκριμένη πειραματική μελέτη είχε ως στόχο τη σύγκριση της συμπεριφοράς των ΦΒ πλαισίων, κρίθηκε απαραίτητος ο έλεγχος της λειτουργίας των ΦΒ, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μελέτης. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της λειτουργίας τους κατά τη διάρκεια δύο τυπικών ημερών της περιόδου μελέτης.

✓ Τυπική χειμερινή ημέρα ελέγχου (12/02/2019)

	13:00, 1,110W/m ²		13:20, 246W/m ²	
	Σημείο μέγιστης ισχύος (W)	Θερμοκρασία (°C)	Σημείο μέγιστης ισχύος (W)	Θερμοκρασία (°C)
ΦΒ ΥΑΦ 31	12.22	41.2	2.15	32.9
ΦΒ ΑΝΑΦ	12.30	41.6	2.22	33.0
ΦΒ ΥΑΦ 27	12.26	40.8	2.35	32.7
ΦΒ ΥΑΦ 35	12.18	40.0	2.20	32.4

Πίνακας 4.1 Ενδεικτικά χρονικά διαστήματα χειμερινού ελέγχου λειτουργίας ΦΒ χωρίς την ενσωμάτωση των δοχείων

✓ Τυπική καλοκαιρινή ημέρα ελέγχου (11/06/2019)

	13:50, 906W/m ²		15:10, 843W/m ²	
	Σημείο μέγιστης ισχύος (W)	Θερμοκρασία (°C)	Σημείο μέγιστης ισχύος (W)	Θερμοκρασία (°C)
ΦΒ ΥΑΦ 31	9.89	56.5	9.11	55.0
ΦΒ ΑΝΑΦ	9.92	57.0	9.27	54.4
ΦΒ ΥΑΦ 27	10.01	56.7	9.46	53.7
ΦΒ ΥΑΦ 35	10.13	57.4	9.33	55.3

Πίνακας 4.2 Ενδεικτικά χρονικά διαστήματα καλοκαιρινού ελέγχου λειτουργίας ΦΒ χωρίς την ενσωμάτωση των δοχείων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, επιβεβαιώνεται η παρόμοια θερμοκρασιακή και ηλεκτρική συμπεριφορά των τεσσάρων ΦΒ. Επομένως, κατά τη διάρκεια της πειραματικής μελέτης, όταν τα ΥΑΦ ήταν ενσωματωμένα στα ΦΒ, όποιες μεταβολές παρατηρήθηκαν στην ενεργειακή ή θερμική συμπεριφορά μεταξύ των πλαισίων, οφειλόταν αποκλειστικά στα ΥΑΦ υπό την προϋπόθεση ότι στη διάρκεια των μετρήσεων οι περιβαλλοντικές συνθήκες παρέμεναν ίδιες και για τα τέσσερα ΦΒ.

4.2.2 Καταγραφή μετρήσεων σήματος πυρανομέτρου για τον υπολογισμό της πυκνότητας ηλιακής ισχύος

Η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία φτάνει σε μία επίπεδη επιφάνεια μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, τη χρονική περίοδο του έτους και τη γωνία



Εικόνα 4.2 Πυρανόμετρο CMP6 [Kipp & Zonen]

πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια. Για τη βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας τα ΦΒ πλαίσια τοποθετούνται με συγκεκριμένη κλίση αναλόγως το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης τους και προσανατολισμό αναλόγως το ημισφαίριο το οποίο ανήκει η περιοχή. Στα Χανιά της Κρήτης η βέλτιστη κλίση είναι εκείνη των 30° και ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος, επομένως, τα ΦΒ πλαίσια της πειραματικής μελέτης τοποθετήθηκαν αναλόγως.

Για τον υπολογισμό της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας, της οποίας φτάνει πάνω στην επιφάνεια των ΦΒ, χρησιμοποιήθηκε το πυρανόμετρο CMP6 Kipp & Zonen με ευαισθησία $14.24 \cdot 10^{-6} \text{V/Wm}^{-2}$. Πιο συγκεκριμένα, το πυρανόμετρο μετράει την πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας, η οποία είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας και τοποθετήθηκε σε ίδια κλίση και προσανατολισμό με τα ΦΒ.

Χρόνος αντίδρασης	18s
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	-40°C - 80°C
Θερμοκρασιακή εξάρτηση ευαισθησίας (-10°C - 40°C)	<4%
Εύρος φάσματος	285 – 2,800nm
Ευαισθησία	14.24 10^{-6} V/Wm ⁻²

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά πυρανόμετρου CMP6 Kipp & Zonen
[Kipp & Zonen]



Εικόνα 4.3 Πυρανόμετρο πειραματικής μελέτης

4.2.3 Καταγραφή μετρήσεων I και V των ΦΒ πλαισίων

Για την εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων των παραμέτρων I και V χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

- I-V tracer
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής

4.2.3.i Περιγραφή I-V tracer

Ο I-V tracer, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική φάση, είχε κατασκευαστεί και ελεγχθεί ως προς τη λειτουργικότητα του από το ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου. Ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας του βασίζεται στη διακρίβωση¹ με πιστοποιημένο όργανο αναφοράς.

Ουσιαστικά, ο I-V tracer μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίσταση, επιτυγχάνοντας την καταγραφή διαφόρων ζευγών έντασης - τάσης ρεύματος. Για την καταγραφή αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός υπολογιστής στον οποίο είχε εγκατασταθεί κατάλληλο λογισμικό. Με την εκκίνηση και τη χρήση του λογισμικού ήταν δυνατόν οι τιμές I-V να καταγραφούν και να αποθηκευτούν σε μορφή εύκολα επεξεργάσιμη.

Ανάλυση	0.01V-0.25V και 0.005A-0.01A
Ακρίβεια μέτρησης σημείου μέγιστης ισχύος	±5%
Επιτρεπόμενο θερμοκρασιακό εύρος μέτρησης	-40°C - +100°C

Πίνακας 4.4 Βασικά χαρακτηριστικά I-V tracer



Εικόνα 4.4 Εργαστηριακός I-V tracer

¹ Διακρίβωση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται σύγκριση των ενδείξεων ενός οργάνου με τις αντίστοιχες ενδείξεις ενός πρότυπου αναφοράς στα ίδια σημεία της κλίμακας μέτρησης.

4.2.4 Καταγραφή θερμικών δεδομένων ΦΒ πλαισίων

Για την μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των ΦΒ ήταν απαραίτητη η μέτρηση της θερμοκρασίας της οπίσθιας και εμπρόσθιας επιφάνειας τους καθώς, επίσης, και η λήψη εικόνας της ΦΒ διάταξης μέσω θερμοκάμερας, ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης της θερμικής της συμπεριφοράς. Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της θερμικής συμπεριφοράς των ελεγχόμενων ΦΒ χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα μέτρησης:

- Ψηφιακό θερμόμετρο HH309A Data Logger Thermometer της Omega
- Μετρητής θερμοκρασίας υπερύθρων της Powerfix Profit
- Θερμοκάμερα Red Hot Intelligence της IRISYS

4.2.4.i Μέτρηση θερμοκρασίας οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ πλαισίων

Η καταγραφή των δεδομένων θερμοκρασία στην οπίσθια επιφάνεια του πλαισίου υλοποιήθηκε με το ψηφιακό θερμόμετρο HH309A Data Logger Thermometer της εταιρίας Omega. Στο θερμοκρασιακό εύρος που μελετήθηκε είχε ακρίβεια $\pm(0.2\% \text{ reading} + 1^\circ\text{C})$. Το θερμόμετρο περιλαμβάνει τέσσερις υποδοχείς αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας. Στη αρχή της πειραματικής μελέτης τοποθετήθηκε στο κέντρο της οπίσθιας επιφάνειας κάθε ΦΒ ένας αισθητήρας θερμοκρασίας, ο οποίος κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας παρέμενε συνδεδεμένος με το θερμόμετρο, ενώ, βρισκόταν σε λειτουργία αποθήκευσης των δεδομένων καθ' όλη την χρονική περίοδο του πειράματος. Το θερμόμετρο είχε ρυθμιστεί ώστε να καταγράφονται οι θερμοκρασίες κάθε δέκα λεπτά. Στο τέλος της διαδικασίας μέσω του εγκατεστημένου σε υπολογιστή λογισμικού SE309 πραγματοποιούνταν εξαγωγή εύκολα επεξεργάσιμου αρχείο με τις καταγεγραμμένες μετρήσεις.



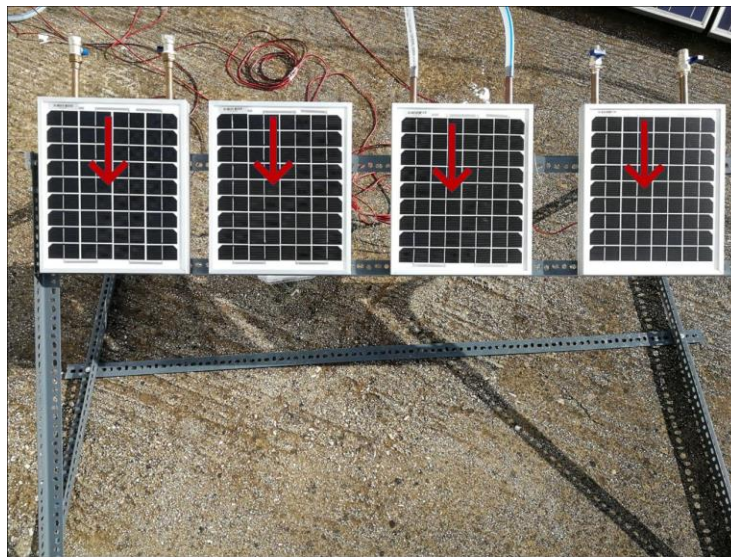
Εικόνα 4.5 Ψηφιακό θερμόμετρο HH309A [Omega engineering]

4.2.4.ii Υπολογισμός θερμοκρασίας εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ πλαισίων

Η θερμοκρασία στο εμπρόσθιο τμήμα του πλαισίου καταμετρήθηκε με ένα μετρητή θερμοκρασίας υπερύθρων (infrared temperature probe) της Powerfix Profit, ο οποίος είχε θερμοκρασιακό εύρος -40°C ως 200°C . Το όργανο περιείχε ενσωματωμένο λέιζερ μαρκαρίσματος για την βέλτιστη εστίαση πάνω στα κελιά και επειδή δε διέθετε μνήμη για τη καταγραφή των μετρήσεων πραγματοποιούνταν επιτόπια ανάγνωση και σημείωση των θερμοκρασιών. Για την ακρίβεια των μετρήσεων, σε κάθε μέτρηση θερμοκρασίας και των τεσσάρων ΦΒ η εστίαση γινόταν σε ένα συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο κοντά το κέντρο των πλαισίων.



Εικόνα 4.6 Infrared temperature probe [Powerfix Profit]



Εικόνα 4.7 Εστίαση σε συγκεκριμένο στοιχείο με το μετρητή υπερύθρων

4.2.4.iii Έλεγχος θερμικής συμπεριφοράς ΦΒ διάταξης

Η καταγραφή της θερμοκρασίας των πλαισίων πραγματοποιήθηκε με τη θερμοκάμερα Red Hot Intelligence της εταιρίας Irsys. Κάθε μία ώρα γινόταν λήψη μίας φωτογραφίας, η οποία περιείχε και τα τέσσερα ΦΒ και συνοδευόταν με κατάλληλη θερμοκρασιακή κλίμακα. Η εικόνα παρείχε πληροφορίες για την θερμοκρασιακή συμπεριφορά ολόκληρης της επιφάνειας των ΦΒ και όχι μονάχα για ένα σημείο και συνεπώς, ήταν εφικτός ο προσδιορισμός της φάσης των ΥΑΦ.



Εικόνα 4.8 Θερμοκάμερα
Irsys Hot Intelligence
[Balkan Magazin]

4.3 Μέθοδος ανάλυσης μετρήσεων

4.3.1 Σχεδίαση καμπύλης I-V, P-V και υπολογισμός σημείου μέγιστης ισχύος

Τα πειραματικά δεδομένα που λαμβάνονται από τα αποθηκευμένα αρχεία, περιείχαν μεγάλο πλήθος τιμών V και I για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή και ΦΒ πλαίσιο. Εν συνεχεία, τα στοιχεία αυτά μέσω κατάλληλης επεξεργασίας αποτελούσαν τη βάση για το σχεδιασμό των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V και P-V, καθώς και τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος [Τσούτσος, 2013].

$$P = I \cdot V \text{ [4.1]}$$

Όπου,

P: ισχύς, (W)

I: ένταση ρεύματος που διαρρέει το ΦΒ, (A)

V: τάση ΦΒ

4.3.2 Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης, συντελεστή πλήρωσης και ημερήσιας ενεργειακής απολαβής ΦΒ πλαισίων

Το σημείο μέγιστης ισχύος² ενός ΦΒ διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του. Σε αντίθεση με άλλες πηγές ενέργειας, η απόδοση ενός ΦΒ δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την τιμή της ηλεκτρικής αντίστασης στα άκρα. Όταν δεν υπάρχει καθόλου ηλεκτρική αντίσταση συναντάται η μέγιστη τάση εξόδου, η οποία ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}). Αντίθετα, όταν βραχυκυκλωθούν τα άκρα η τάση μηδενίζεται, αλλά η ένταση του ρεύματος είναι η μέγιστη δυνατή και ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}). Η απόδοση ενός ΦΒ υπολογίστηκε από τον τύπο (4.3) και είναι ο λόγος της μέγιστης ισχύος που αποδίδει το ΦΒ προς τη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε αυτό, [Τσούτσος, 2013]. Ο υπολογισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας προέκυψε πολλαπλασιάζοντας την πυκνότητα ηλιακής ισχύος με την επιφάνεια του ΦΒ.

$$P_{inc} = G_t \cdot A \quad [4.2]$$

Όπου,

P_{inc} : προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στο ΦΒ, (W)

G_t : πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ, (W/m²)

A: επιφάνεια ΦΒ, (m²)

$$n = \frac{P_m}{P_{inc}} \cdot 100 \quad [4.3]$$

Όπου,

n: απόδοση ΦΒ, (%)

P_m : η ηλεκτρική ισχύς η οποία αποδίδει το ΦΒ στο σημείο μέγιστης ισχύος (μέγιστη ισχύς), (W)

P_{inc} : προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στο ΦΒ, (W)

Ο συντελεστής πλήρωσης (Σ.Σ.) ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ισχύος που αποδίδει το ΦΒ προς την ισχύ την οποία θα απέδιδε το ΦΒ εάν στα άκρα του είχε τη μέγιστη τάση (τάση ανοικτού κυκλώματος) και διαρρεόταν από το ρεύμα βραχυκύκλωσης [Τσούτσος, 2013]. Πρόκειται για ένα δείκτη ο οποίος δηλώνει κατά πόσο το ΦΒ πλησιάζει τις ιδανικές συνθήκες λειτουργίας. Όσο μεγαλύτερο συντελεστή πλήρωσης παρουσιάζει ένα ΦΒ στοιχείο τόσο καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά έχει. Τα ΦΒ στοιχεία τα οποία έχουν καλή έως πολύ καλή ενεργειακή συμπεριφορά παρουσιάζουν FF με τιμές 0.7-0.9.

$$F.F. = \frac{P_m}{I_{sc} V_{oc}} \cdot 100 \quad [4.4]$$

Όπου,

F.F. : συντελεστής πλήρωσης, (%)

P_m : η μέγιστη ισχύς του ΦΒ, (W)

² Η μέγιστη τιμή του γινομένου των I και V (Εξίσωση 4.1), ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος και ουσιαστικά, πρόκειται για το σημείο εκείνο που το ΦΒ παρουσιάζει τη μέγιστη απόδοση υπό σταθερές συνθήκες.

I_{sc} : το ρεύμα βραχυκύκλωσης, (A)

V_{oc} : η τάση ανοικτού κυκλώματος, (V)

Στο πλαίσιο υλοποίησης της πειραματικής διαδικασίας, ελήφθη ένας σημαντικός αριθμός ημερήσιων δεδομένων ισχύος για κάθε ένα εκ των ελεγχόμενων ΦΒ συναρτήσει του χρόνου, με αποτέλεσμα να ήταν εφικτός ο προσδιορισμός της ημερήσιας απολαβής ισχύος κάθε ΦΒ .

4.4 Απόκτηση περιβαλλοντικών καιρικών δεδομένων

Στο Πολυτεχνείο Κρήτης υπάρχει εγκατεστημένος μετεωρολογικός σταθμός, του οποίου τα δεδομένα διαχειρίζεται το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία αποκτήθηκαν, καλύπτουν το σύνολο της χρονικής περιόδου διεξαγωγής των πειραμάτων και περιλαμβάνουν στοιχεία για τις παραμέτρους θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ταχύτητας ανέμου.

Κεφάλαιο 5ο : Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, η οποία διήρκησε συνολικά έξι μήνες (Φεβρουάριος 2019 έως Ιούλιος 2019), χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν πενήντα ημερήσιες μετρήσεις και έξι μετρήσεις διακρίβωσης της όμοιας λειτουργίας των τεσσάρων ΦΒ χωρίς τα δοχεία. Στόχος της μελέτης ήταν η σύγκριση των τεσσάρων ΦΒ και η επιλογή του βέλτιστου συστήματος. Για την επιλογή του εξετάστηκε η θερμική και ηλεκτρική συμπεριφορά των ΦΒ ανά μήνα, αναλύοντας μετρήσεις για τυπικές ημέρες κάθε μήνα. Η επιλογή των ημερών που μελετήθηκαν πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξεταστεί η συμπεριφορά των ΦΒ υπό ρεαλιστικές συνθήκες πεδίου και μετεωρολογικών φαινομένων. Ειδικότερα, η πειραματική διαδικασία έλαβε χώρα υπό την επίδραση ισχυρών ανέμων, με αφρικανική σκόνη, υψηλών θερμοκρασιών, καθώς και ημέρες που τα καιρικά δεδομένα ήταν συνηθισμένα και αναμενόμενα για την εποχή.

Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία υπολογίστηκε η ημερήσια απόδοση των ΦΒ και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα ραβδογράμματα, τα οποία εμπεριείχαν τη μέση και μέγιστη θερμοκρασία της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ, τη μέση και μέγιστη θερμοκρασία της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ καθώς και την ημερήσια ενεργειακή παραγωγή και τη μέση απόδοση κάποιων τυπικών ημερών κάθε εξεταζόμενου μήνα.

Κατά την ανάλυση των χαρακτηριστικών ημερήσιων μετρήσεων παρατίθενται τα διαγράμματα της θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ πλαισίων συναρτήσει του χρόνου, της μέγιστης ισχύος συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας εμπρόσθιας επιφάνειας συναρτήσει του χρόνου. Παράλληλα παρουσιάζονται τα καιρικά στοιχεία που επικρατούσαν κατά τη χρονική διάρκεια του πειράματος, τα οποία περιλαμβάνουν την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο 30°, την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον, για κάθε ημέρα διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων έχει υπολογιστεί η μέση τιμή της απόδοσης, η μέση τιμή του συντελεστή πλήρωσης, η μέση τιμή της οπίσθιας θερμοκρασίας των πλαισίων και η συνολική ημερήσια ηλεκτρική ενεργειακή παραγωγή. Τέλος, επιλέχθηκαν κατάλληλες εικόνες από τη θερμοκάμερα και πραγματοποιήθηκε σχολιασμός των ενεργειακών και θερμοκρασιακών διαφορών των ΦΒ, με στόχο την ανάδειξη του βέλτιστου συστήματος.

5.2 Χαρακτηριστικές ημερήσιες μετρήσεις

Ο πίνακας 5.1 εμπεριέχει τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκε η πειραματική μελέτη, καθώς και τη χρονική διάρκεια και το βήμα καταγραφής των δεδομένων κάθε μελετώμενης ημέρας.

Ημερομηνία	Χρονική διάρκεια πειραματικής διαδικασίας	Χρονικό βήμα καταγραφής δεδομένων
19-Φεβ-2019	09:30 - 15:10	10min
20-Φεβ-2019	09:20 - 15:10	10min
21-Φεβ-2019	09:10 - 15:10	10min
22-Φεβ-2019	09:10 - 15:10	10min
28-Φεβ-2019	11:00 - 15:00	10min
1-Μαρ-2019	09:10 - 14:50	10min
4-Μαρ-2019	08:50 - 15:00	10min
5-Μαρ-2019	09:00 - 15:00	10min
6-Μαρ-2019	09:20 - 15:00	10min
7-Μαρ-2019	09:00 - 15:00	10min
8-Μαρ-2019	08:50 - 14:50	10min
14-Μαρ-2019	08:50 - 14:50	10min
18-Μαρ-2019	08:50 - 14:40	10min
19-Μαρ-2019	08:40 - 14:50	10min
20-Μαρ-2019	08:40 - 14:40	10min
21-Μαρ-2019	08:30 - 14:40	10min
27-Μαρ-2019	08:30 - 14:30	10min
1-Απρ-2019	08:40 - 16:00	10min
2-Απρ-2019	09:00 - 16:00	10min
3-Απρ-2019	08:30 - 15:10	10min
4-Απρ-2019	08:50 - 16:40	10min
9-Απρ-2019	09:10 - 13:20	10min
10-Απρ-2019	08:30 - 16:50	10min
11-Απρ-2019	08:50 - 16:40	10min
12-Απρ-2019	08:30 - 10:20	10min
16-Απρ-2019	11:50 - 16:20	10min
17-Απρ-2019	08:30 - 17:50	10min
18-Απρ-2019	08:30 - 15:40	10min
19-Απρ-2019	10:30 - 16:50	10min
22-Απρ-2019	09:10 - 15:30	10min
23-Απρ-2019	08:30 - 13:50	10min

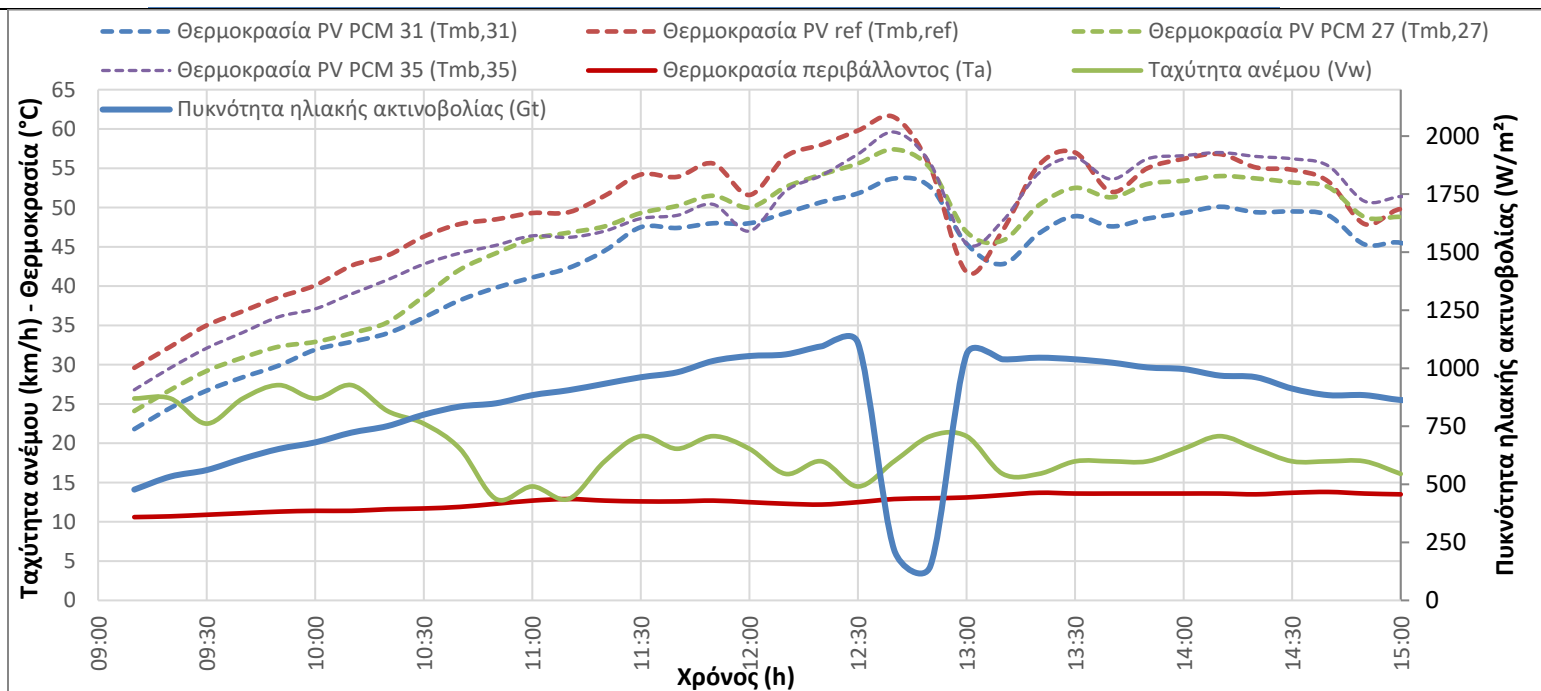
24-Απρ-2019	12:10 - 15:50	10min
25-Απρ-2019	09:40 - 13:50	10min
2-Μαϊ-2019	09:10 - 15:20	10min
3-Μαϊ-2019	09:10 - 16:40	10min
6-Μαϊ-2019	08:50 - 16:00	10min
10-Μαϊ-2019	09:50 - 15:40	10min
13-Μαϊ-2019	08:30 - 17:00	10min
20-Μαϊ-2019	10:00 - 15:50	10min
21-Μαϊ-2019	08:20 - 15:50	10min
13-Ιουν-2019	09:10 - 16:50	10min
14-Ιουν-2019	09:00 - 16:30	10min
18-Ιουν-2019	07:30 - 18:00	10min
20-Ιουν-2019	07:30 - 18:00	10min
21-Ιουν-2019	08:30 - 16:00	10min
25-Ιουν-2019	07:30 - 17:50	10min
1-Ιουλ-2019	10:10 - 15:00	10min
4-Ιουλ-2019	07:30 - 18:00	10min
5-Ιουλ-2019	07:40 - 17:00	10min
12-Ιουλ-2019	07:30 - 18:20	10min

Πίνακας 5.1 Χρονική διάρκεια πειραματικής διαδικασίας και βήμα καταγραφής δεδομένων των εξεταζόμενων ημερών

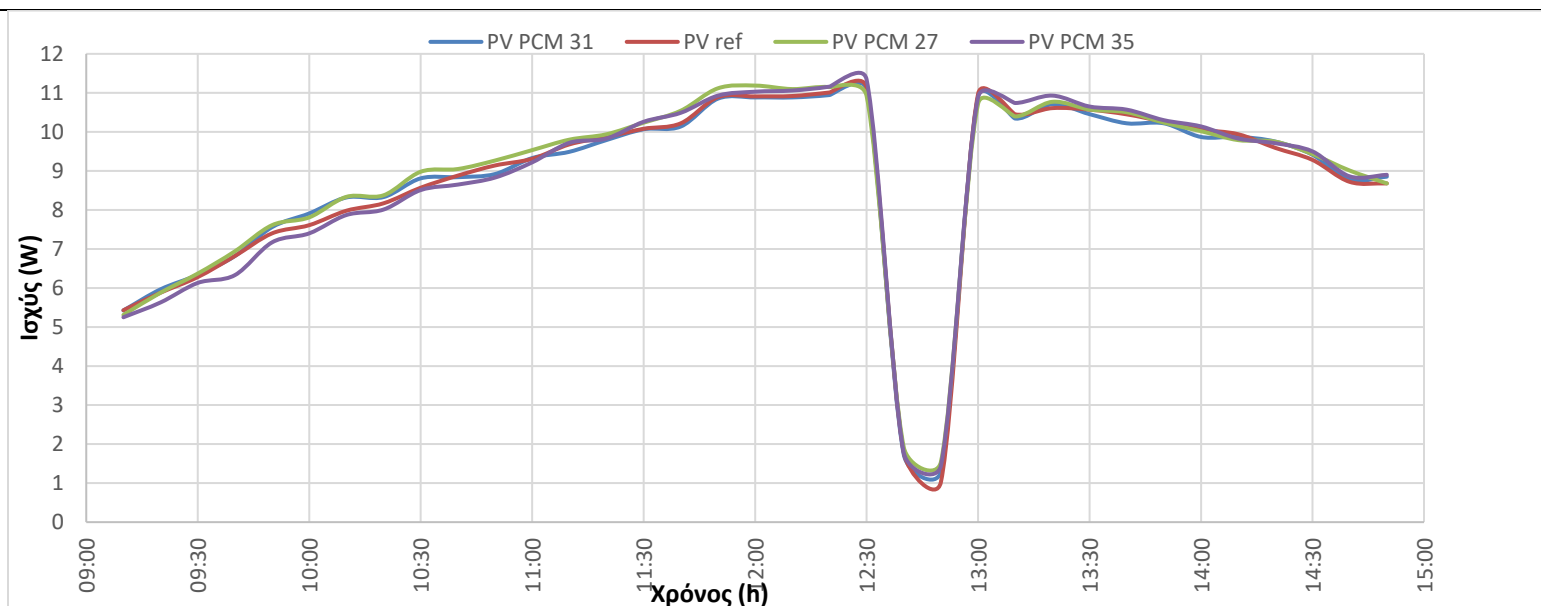
5.2.1 Φεβρουάριος 2019

21.02.2019

Χρονική διάρκεια: 09:10-15:00 - Μερική ηλιοφάνεια με σχεδόν μέτριο άνεμο



Διάγραμμα 5.1 Θερμοκρασίες οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.2 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

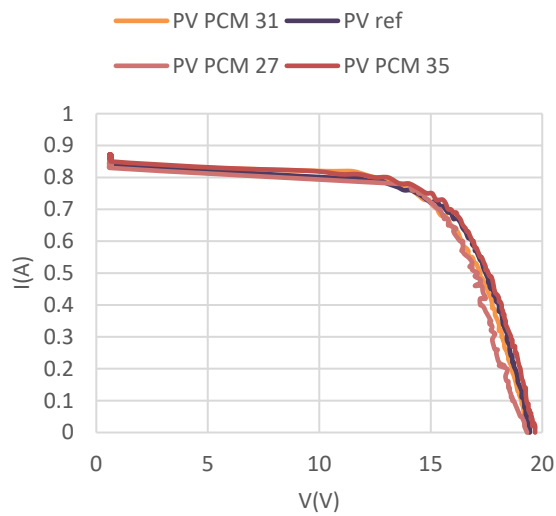
Στο διάγραμμα 5.1 παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα της θερμοκρασίας λειτουργίας της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ (T_{mb}) σε αντιπαράβολή με την ένταση της ταχύτητας τον ανέμου (V_w), τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_a) και τις πειραματικές καταγεγραμμένες τιμές πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας (G_t) σε επίπεδο 30° (επίπεδο ΦΒ). Το εύρος τιμών T_{mb} κυμάνθηκε μεταξύ 21.8°C - 53.7°C, 29.6°C - 61.5°C, 24.1°C - 57.4°C και 26.8°C - 59.6°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΥΑΦ 35 αντίστοιχα και το εύρος τιμών της T_a μεταξύ 10.6°C – 13.8°C. Η μέγιστη τιμή T_{mb,ΑΝΑΦ} καταγράφηκε στις 12:40 και έπειτα, σημειώθηκε σημαντική πτώση των τιμών T_{mb} μέχρι τις 13:00, εξαιτίας της εμφάνισης συννεφιάς στον ουράνιο θόλο. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του ΦΒ ΑΝΑΦ και των ΦΒ ΥΑΦ. Πιο συγκεκριμένα, στις 10:10 η διαφορά τιμών T_{mb,ΑΝΑΦ} και T_{mb,27} υπολογίστηκε στους 8.6°C, είκοσι λεπτά αργότερα η διαφορά T_{mb,ΑΝΑΦ} και T_{mb,31} άγγιξε τους 10.3°C και στις 11:30 η διαφορά T_{mb,ΑΝΑΦ} και T_{mb,35} ήταν 5.6°C. Από τον πίνακα 5.2 και από το διάγραμμα 5.11 συμπεραίνεται πως το ΦΒ ΥΑΦ 31 στο μεγαλύτερο μέρος της μελέτης, κατείχε τη μικρότερη τιμή T_{mb}, ενώ το ΦΒ ΑΝΑΦ τη μεγαλύτερη. Σημαντικό είναι να αναφερθεί, πως η συγκεκριμένη μελετώμενη ημέρα δεν αποτέλεσε μία συνηθισμένη ημέρα Φεβρουαρίου, οι τιμές T_a ήταν υψηλές για την εποχή, με αποτέλεσμα αντίστοιχα και οι τιμές των T_{mb} να ανήλθαν σε υψηλότερα από τα αναμενόμενα επίπεδα.

Στο διάγραμμα 5.12 παρατίθεται η μέγιστη ισχύς των ΦΒ κάθε χρονικού βήματος. Η μέγιστη ισχύς των ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 35 σημειώθηκε στις 12:40 και ήταν ίση με 11.13W, 11.08W και 11.34W αντίστοιχα, ενώ του ΦΒ ΥΑΦ 27 στις 12:30, η οποία ήταν 11.19W. Από τις 09:10 έως και τις 11:00 το ΦΒ ΥΑΦ 35 εμφάνιζε τη χειρότερη ενεργειακή συμπεριφορά, με το ΦΒ να ακολουθούσε. Μετά τις 11:10 παρατηρήθηκε βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του ΦΒ ΥΑΦ 35, γεγονός που εξηγήθηκε εξετάζοντας το διάγραμμα 5.11. Μετά τις 11:00 η τιμή T_{mb,35} σταθεροποιήθηκε για λίγα λεπτά, φαινόμενο που υποδηλώνει ότι το ΥΑΦ 35 από στερεό μετατράπηκε σε υγρό. Αντίθετα, τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 είχαν βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ τις πρώτες πρωινές ώρες της πειραματικής διαδικασίας.

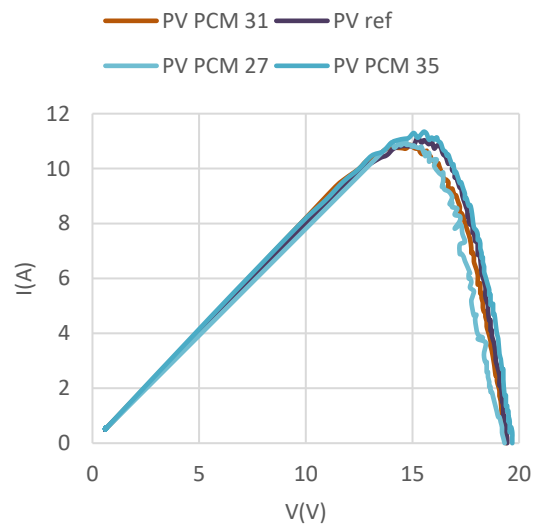
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	42.8	49.4	45.9	47.8
Απόδοση	%	10.09	9.97	10.20	10.02
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.63	0.64	0.65	0.64
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	51.52	51.43	52.13	51.51

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

Οι καμπύλες I-V και P-V τη χρονική στιγμή της μέγιστης G_t αναπαριστώνται στα διαγράμματα 5.3 και 5.4. Λόγω τεχνικών προβλημάτων δεν ελήφθησαν εικόνες από τη θερμοκάμερα ούτε καταγράφηκαν δεδομένα θερμοκρασίας της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ (T_{mf}).



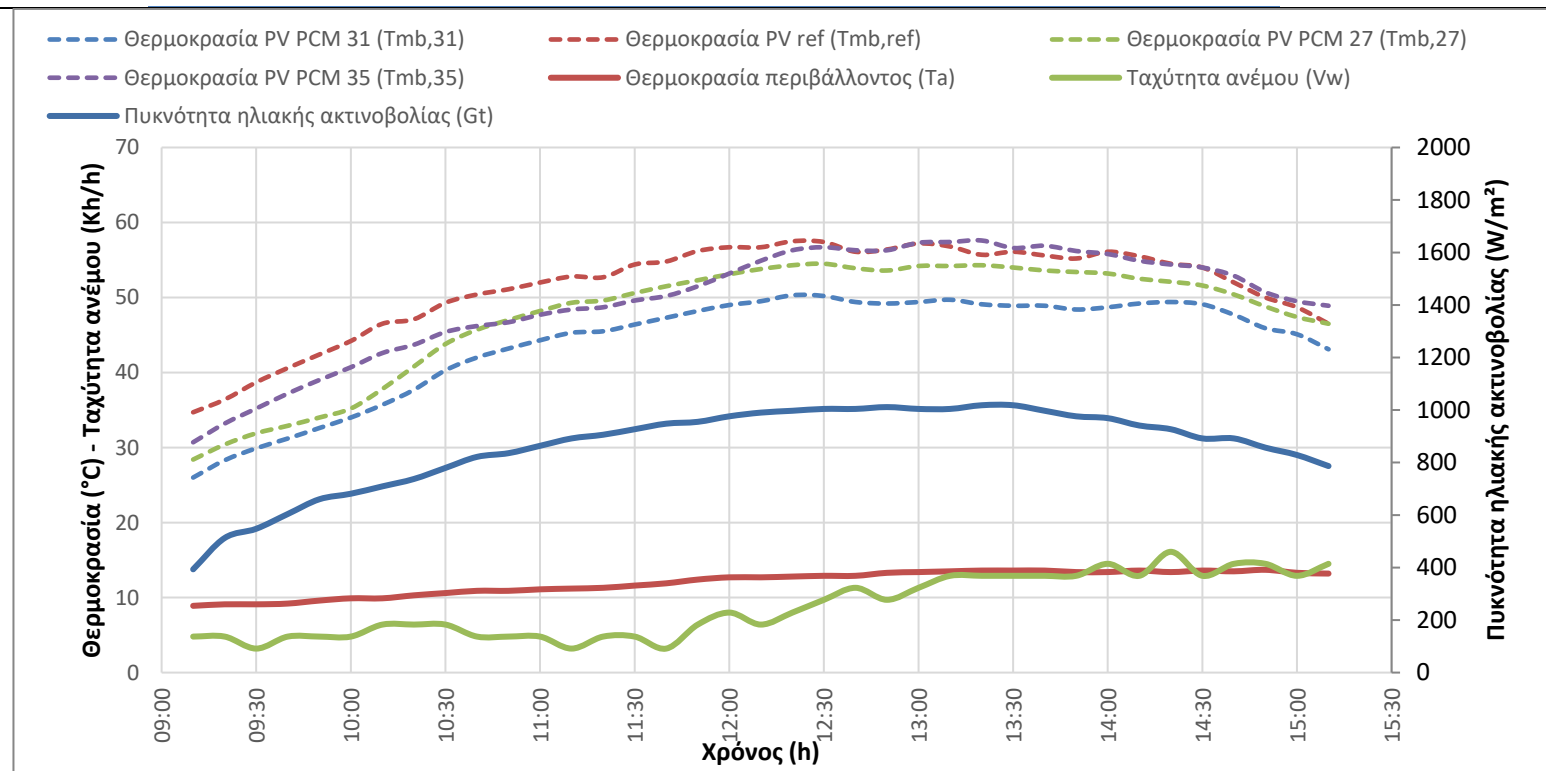
Διάγραμμα 5.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:30, 1,109W/m²



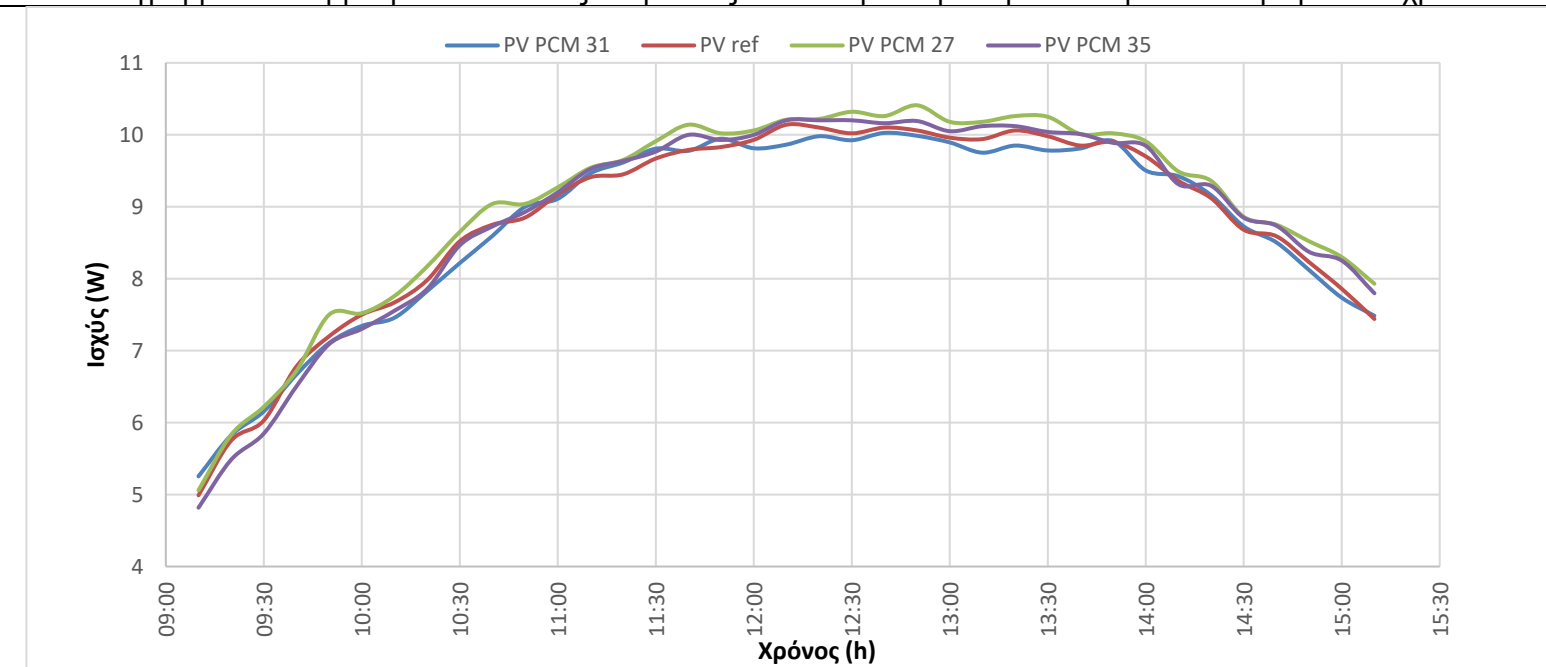
Διάγραμμα 5.4 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:30, 1,109W/m²

22.02.2019

Χρονική διάρκεια πειράματος 09:10-15:10 - Ηλιοφάνεια με ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.5 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.6 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

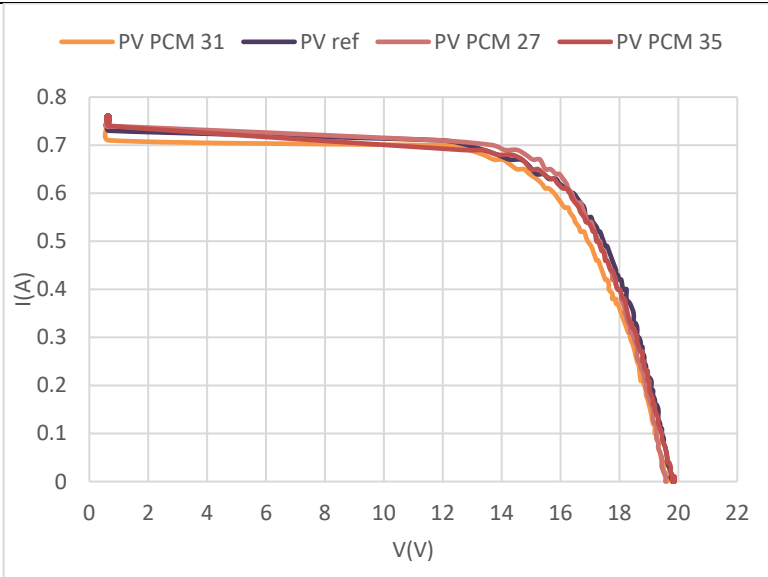
Στο διάγραμμα 5.5 απεικονίζονται γραφικά οι τιμές των παραμέτρων T_{mb} , G_t , V_w και T_a μίας αίθριας ημέρας του Φεβρουαρίου, με ασθενή άνεμο. Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας η τιμή $T_{mb,31}$ ήταν μικρότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές T_{mb} , με τη μέγιστη διαφορά, σε σχέση με τη τιμή $T_{mb,ANAΦ}$, να καταγράφεται στις 10:10, η οποία ήταν $10.8^{\circ}C$. Αντίστοιχα, στις 10:20 προσδιορίστηκε η μέγιστη διαφορά $T_{mb,27}$ και $T_{mb,ANAΦ}$, η οποία ανήλθε στους $9.0^{\circ}C$. Μελετώντας το διάγραμμα 5.5 διαπιστώθηκε πως στο μεγαλύτερο μέρος της ημέρας το ΦΒ ANAΦ είχε τη μεγαλύτερη τιμή T_{mb} , με εξαίρεση κάποια χρονικά διαστήματα μεταξύ 12:30 και 15:10, στα οποία τη μέγιστη θερμοκρασία εμφάνιζε το ΦΒ ΥΑΦ 35. Τα εύρη τιμών $T_{mb,31}$, $T_{mb,ANAΦ}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ κυμαινόταν μεταξύ $26.0^{\circ}C - 50.3^{\circ}C$, $34.7^{\circ}C - 57.4^{\circ}C$, $28.4^{\circ}C - 54.5^{\circ}C$ και $30.7^{\circ}C - 57.6^{\circ}C$ αντίστοιχα.

Εξετάζοντας το διάγραμμα 5.6 παρατηρήθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 27 παρήγαγε κατά τη διάρκεια σχεδόν όλων των εξεταζόμενων χρονικών στιγμών το μεγαλύτερο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Στις πρώτες μετρήσεις, που οι $T_{mb,35}$ ήταν μικρότερες του σημείου τήξεως του ΥΑΦ 35, το ΦΒ ΥΑΦ 35 απέδιδε λιγότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα. Μετά τις 10:00 οι τιμές των $T_{mb,35}$ ήταν μεγαλύτερες των $35^{\circ}C$, με αποτέλεσμα, να πραγματοποιείται αλλαγή φάσης του ΥΑΦ και το ΦΒ ΥΑΦ 35 να αποδίδει ενεργειακά καλύτερα. Παράλληλα, τη χειρότερη απόδοση εμφάνισε το ΦΒ ΥΑΦ 31, το οποίο ενώ είχε μετά τις 10:00 αρκετά μικρότερη τιμή T_{mb} σε σχέση με εκείνες των υπόλοιπων ΦΒ, παρήγαγε τη μικρότερη ενέργεια. Στις 13:20 και στις 13:30 σημειώθηκε η μέγιστη G_t , ίση με $1,018W/m^2$, διαστήματα που δεν υπολογίστηκαν και οι μέγιστες τιμές ενεργειακής παραγωγής των ΦΒ. Μεταξύ 12:10 και 12:50 παρατηρήθηκε η μέγιστη ισχύς των ΦΒ και πιο συγκεκριμένα, καταγράφηκαν τιμές ισχύος 10.03W, 10.14W, 10.41W και 10.20W για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ANAΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα.

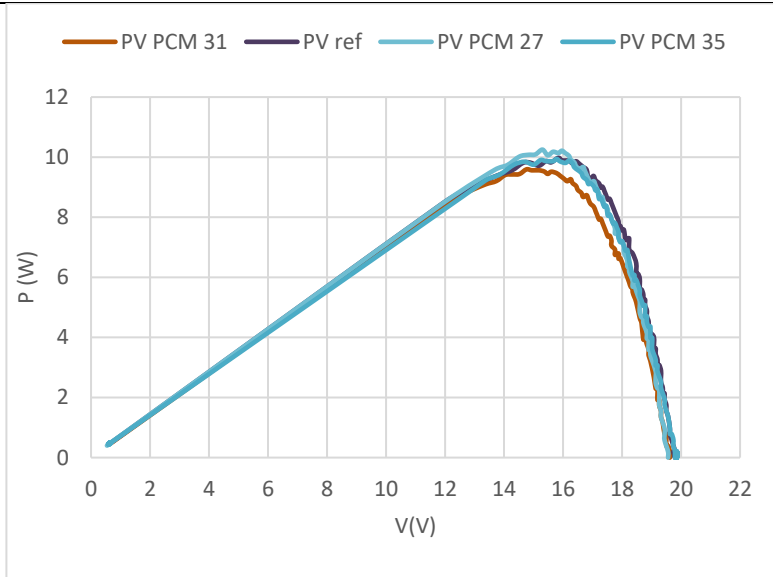
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ANAΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}C$	44.0	51.3	47.5	49.6
Απόδοση	%	9.92	9.97	10.19	10.00
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.63	0.64	0.65	0.64
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	54.07	54.39	55.59	54.71

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

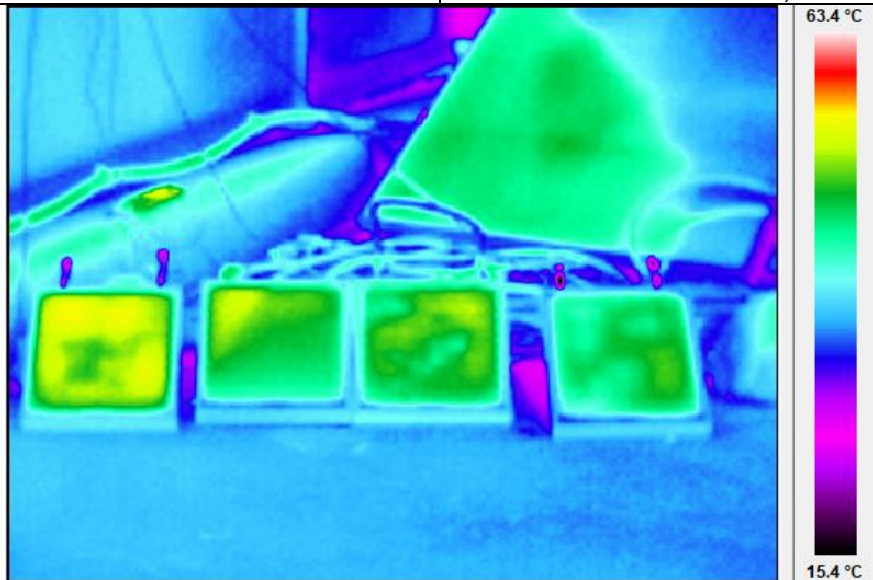
Τα διαγράμματα 5.7 και 5.8 παρουσιάζουν τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V τη χρονική στιγμή μέγιστης τιμής G_t , την οποία οι τιμές ισχύος των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ANAΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 ήταν ίσες με 9.78W, 9.98W, 10.25W και 10.04W αντίστοιχα. Στην εικόνα 5.1 απεικονίζεται η θερμική κατάσταση της ΦΒ διάταξης στις 13:30.



Διάγραμμα 5.7 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, $1,018\text{W/m}^2$



Διάγραμμα 5.8 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, $1,018\text{W/m}^2$

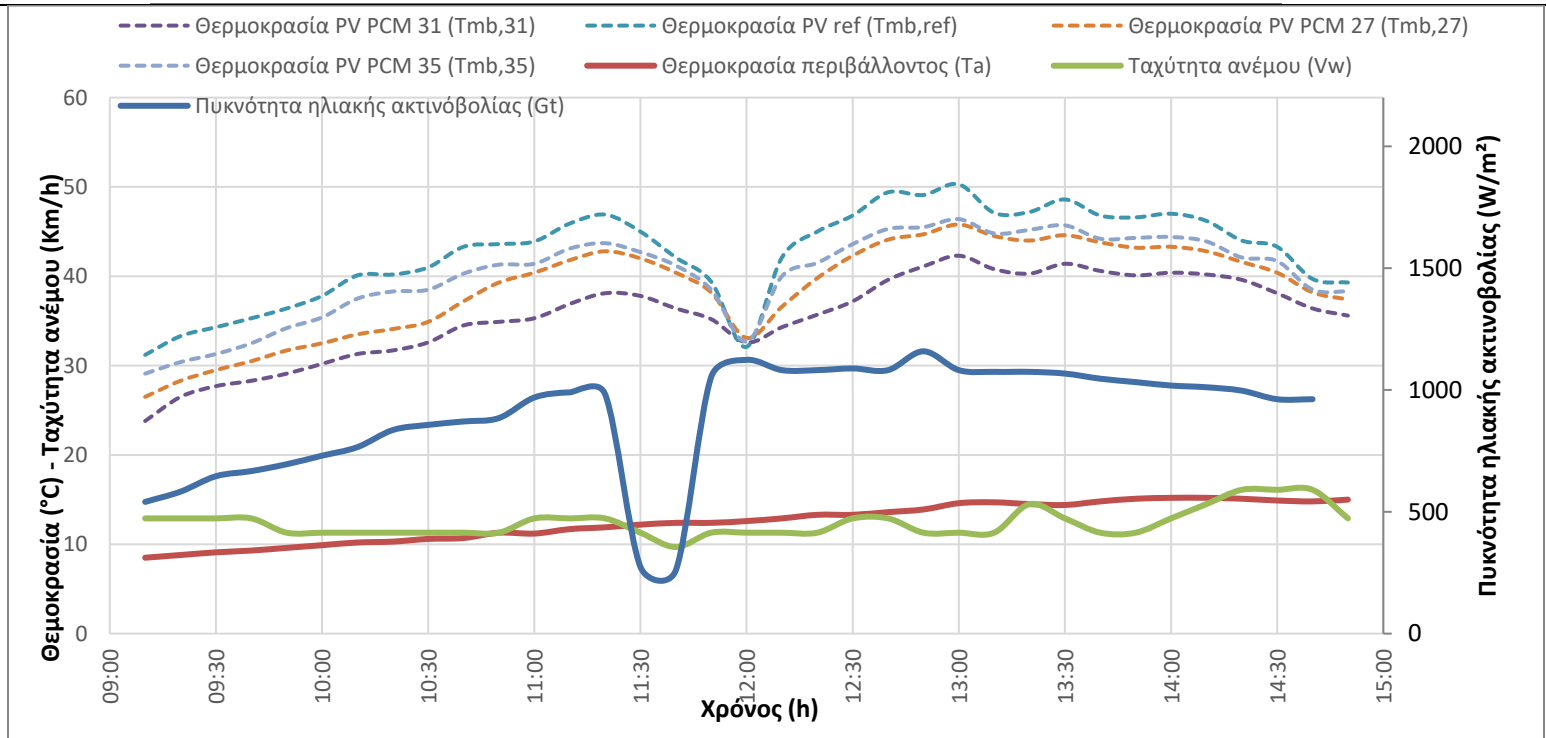


Εικόνα 5.1 Εικόνα από θερμικάμερα, 13:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27 – ΦΒ ΥΑΦ 35)

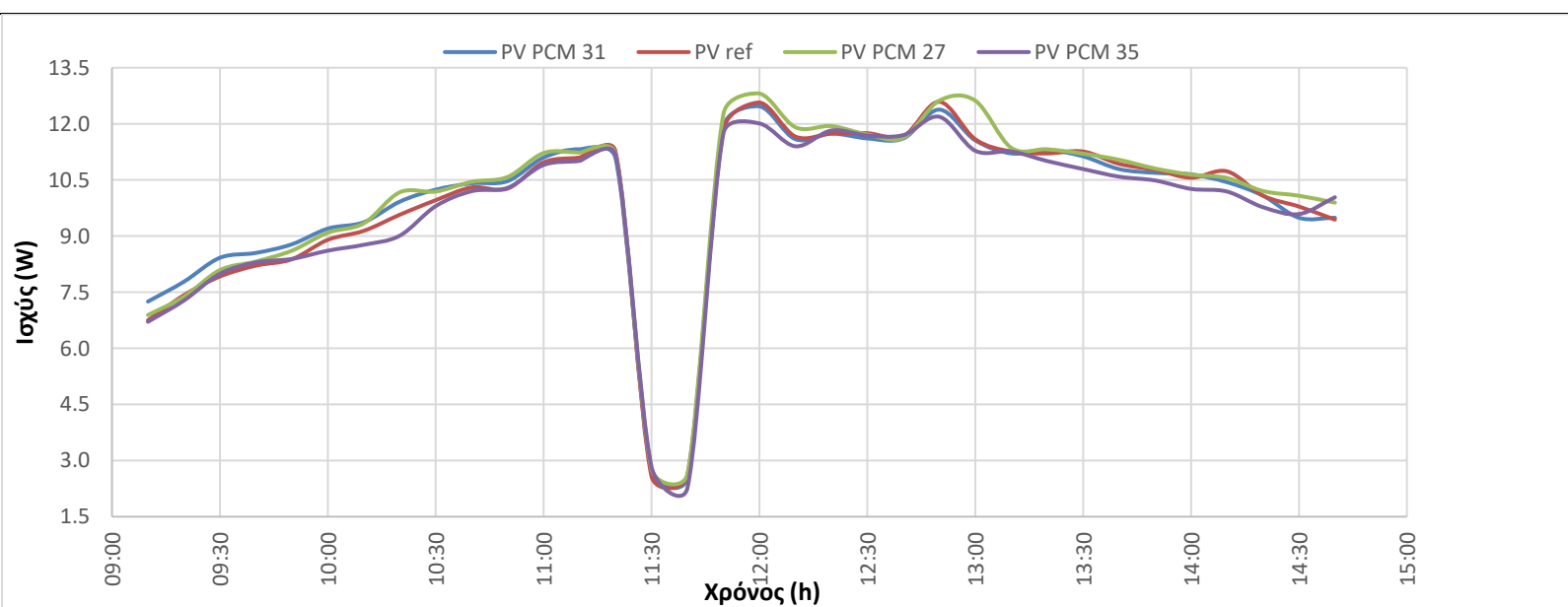
5.2.2 Μάρτιος 2019

01.03.2019

Χρονική διάρκεια 09:10-14:50 – Ηλιοφάνεια με ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.9 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



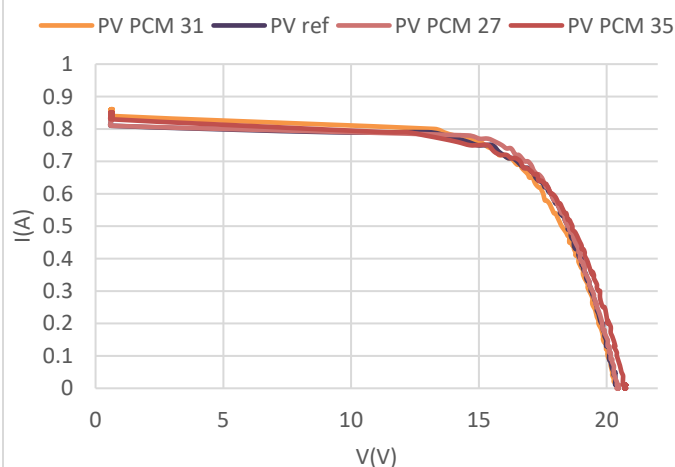
Διάγραμμα 5.10 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Η γραφική απεικόνιση των μεγεθών T_{mb} , V_w , T_a και G_t πραγματοποιείται στο διάγραμμα 5.9. Η μέση τιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος ήταν ίση με 12.5°C και η μέση ταχύτητα ανέμου 12.4km/h . Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας υπήρχε ηλιοφάνεια, με μέγιστη τιμή G_t τα $1,159\text{W/m}^2$ στις 12:50, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα 11:30 με 11:50 που υπήρχε διακεκομμένη συννεφιά. Μελετώντας τις τιμές T_{mb} παρατηρήθηκε ότι όλες τις χρονικές στιγμές, εκτός στις 12:00, η $T_{mb,31}$ είχε την ελάχιστη τιμή, ακολουθούμενη από την $T_{mb,27}$, ενώ η $T_{mb,ANA\Phi}$ τη μέγιστη. Οι τιμές των T_{mb} διακυμάνθηκαν μεταξύ 23.8°C - 42.3°C , 31.2°C - 50.3°C , 26.5°C - 45.8°C και 29.1°C - 46.4°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα. Οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ και ΦΒ ΑΝΑΦ υπολογίστηκαν στις 12:40 για το ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 35, με τιμές 9.8°C και 4.1°C αντίστοιχα και στις 10:10 για το ΦΒ ΥΑΦ 27, με τιμή 6.6°C .

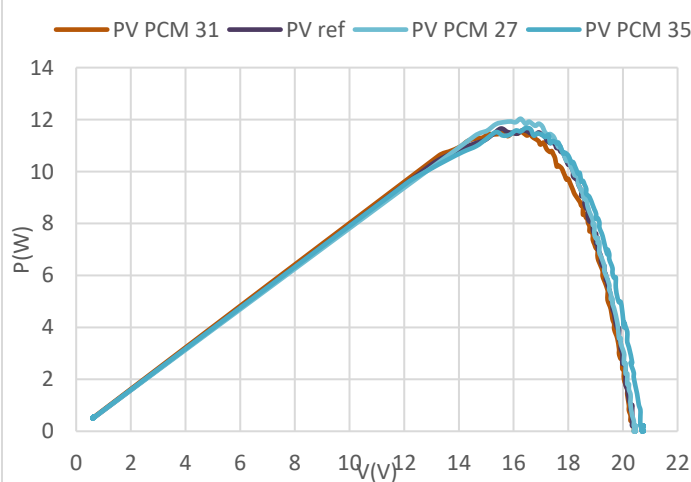
Το διάγραμμα 5.10 παρουσιάζει το σημείο μέγιστης ισχύος κάθε χρονικής στιγμής. Στις 12:00 τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 σημείωσαν τη μέγιστη ισχύ, 12.47W και 12.81W αντίστοιχα και στις 12:50 τα ΦΒ ΥΑΦ 35 και ΦΒ ΑΝΑΦ, 12.19W και 12.59W αντίστοιχα. Αρχικά, το ΦΒ ΥΑΦ 31 μέχρι τις 10:10 απέδιδε βέλτιστα και στη συνέχεια τις περισσότερες χρονικές στιγμές το ΦΒ ΥΑΦ 27 ήταν εκείνο που παρήγαγε τη μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία για την απόδοση των εξεταζόμενων συστημάτων συνοψίζονται στο πίνακα 5.5. Ειδικότερα, το ΦΒ ΥΑΦ 27 παρουσίαζε τη μεγαλύτερη συνολική ημερήσια παραγωγή ενέργειας, η οποία έφτασε το 57.13Wh (περίπου +2% σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ).

		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	35.6	42.6	38.7	40.2
Απόδοση	%	10.83	10.71	10.91	10.54
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.72	0.72	0.74	0.68
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	56.55	56.13	57.13	55.22

Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας



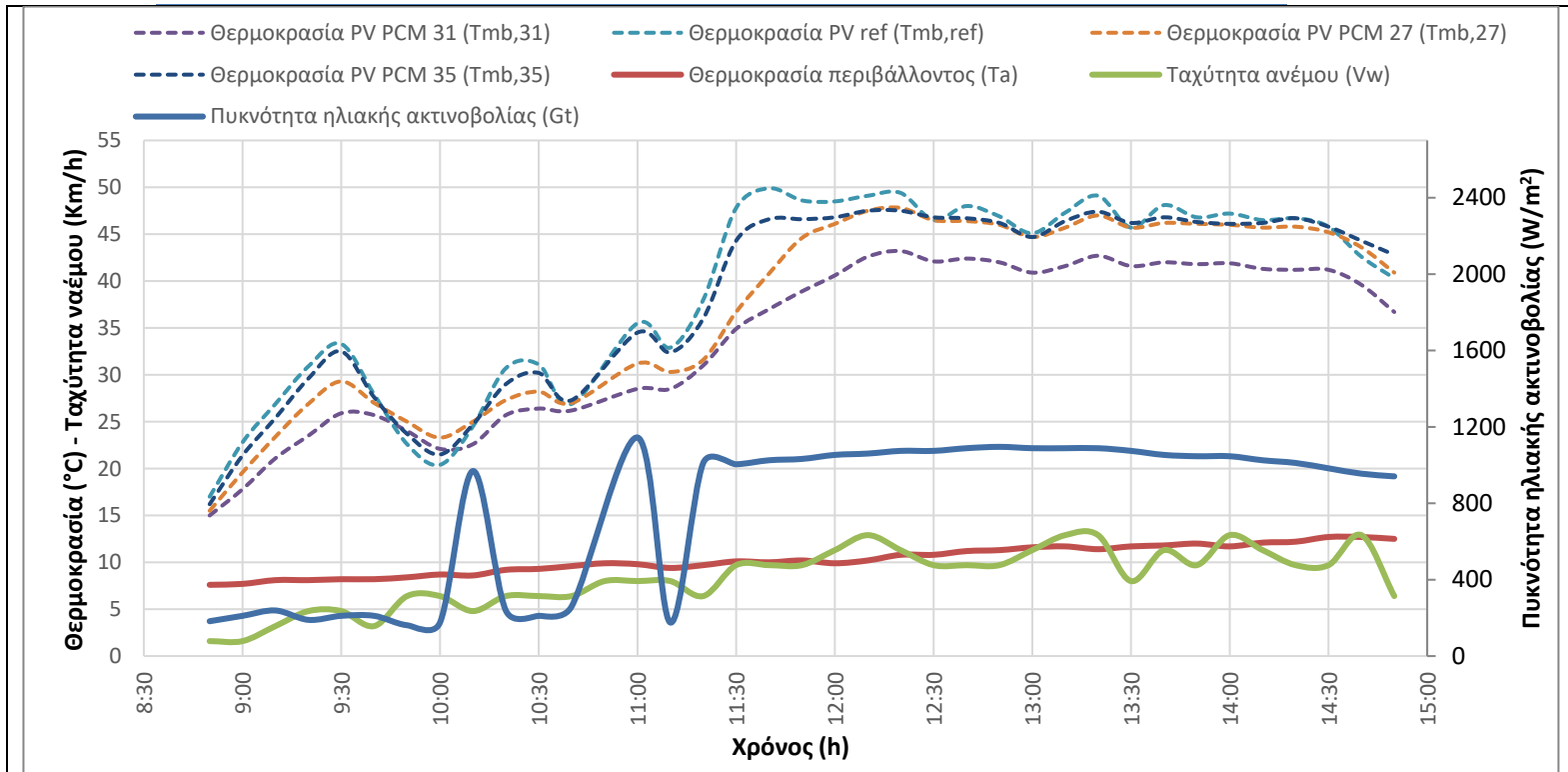
Διάγραμμα 5.11 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:20, $1,081\text{W/m}^2$



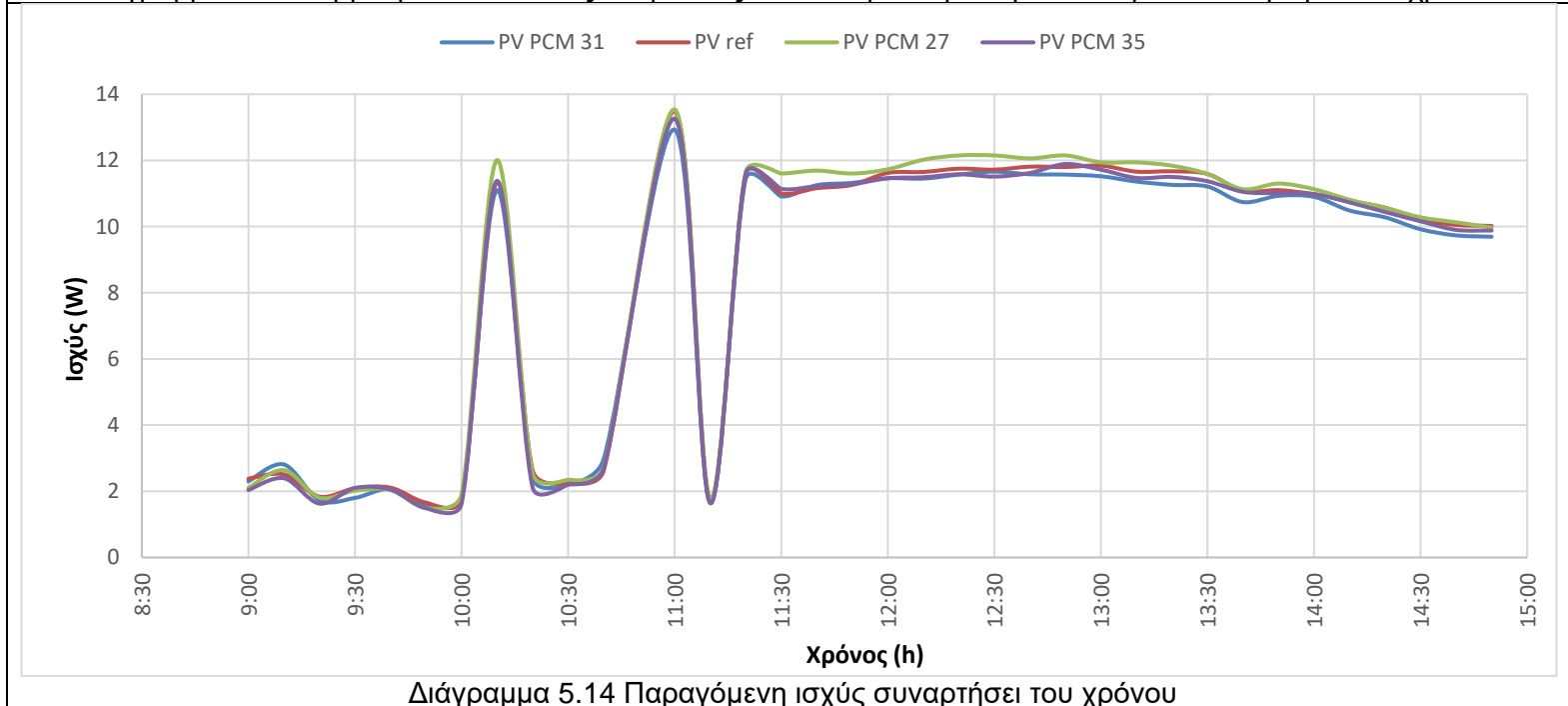
Διάγραμμα 5.12 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:20, $1,081\text{W/m}^2$

14.03.2019

Χρονική διάρκεια: 08:50-14:50 – Μερικώς νεφελώδης καιρός με πολύ ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.13 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.14 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Εξετάζοντας τη τιμή G_t του διαγράμματος 5.13 παρατηρήθηκε πως μέχρι τις 11:10 ο καιρός ήταν νεφελώδης και στη συνέχεια υπήρχε ηλιοφάνεια με την ταχύτητα του ανέμου να κυμάνθηκε μεταξύ 1.6km/h και 12.9km/h. Το εύρος τιμών της T_{mb} προσδιορίστηκε μεταξύ 15.0°C - 43.2°C, 17.0°C - 49.9°C, 15.5°C - 47.8°C και 16.2°C - 47.5°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα. Σχεδόν όλες τις χρονικές στιγμές η τιμή $T_{mb,31}$ ήταν μικρότερη και η $T_{mb,ΑΝΑΦ}$ η μεγαλύτερη. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της $T_{mb,ΑΝΑΦ}$ και των $T_{mb,31}$, $T_{mb,27}$, $T_{mb,35}$ υπολογίστηκε στους 12.9°C, 11.1°C και 3.5°C αντίστοιχα, στις 11:30.

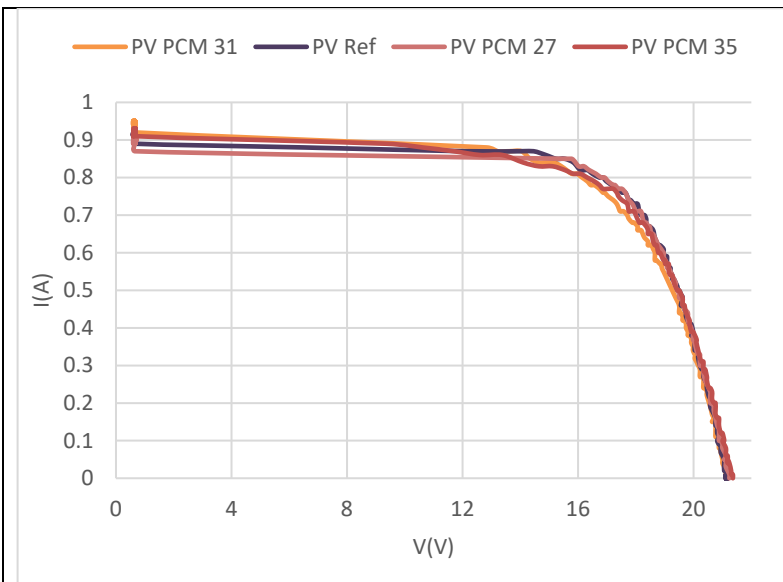
Στο διάγραμμα 5.14 απεικονίζονται τα σημεία μέγιστης ισχύος συναρτήσει του χρόνου. Στις 11:00, σημειώθηκε η μέγιστη τιμή G_t , 1,145W/m² με την ισχύ των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 να ανήλθε στα 12.93W, 13.49W, 13.54W και 13.26W αντίστοιχα. Από τις 11:20 και έπειτα επικράτησε ηλιοφάνεια, το ΦΒ ΥΑΦ 27 απέδιδε βέλτιστα και εμφάνισε έως και 0.60W διαφορά σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ στις 11:30.

		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	33.7	38.7	36.8	38.0
Απόδοση	%	9.85	10.04	10.15	10.05
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.57	0.58	0.59	0.59
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	50.42	51.47	52.32	50.81

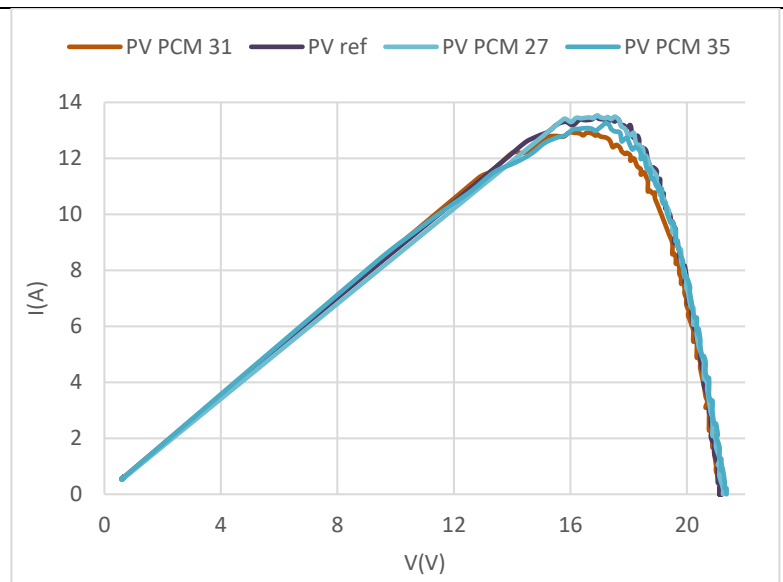
Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

Τα διαγράμματα 5.15 και 5.16 απεικονίζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ΦΒ τη χρονική στιγμή μέγιστης τιμής G_t , κατά την οποία σημειώθηκαν και οι μέγιστες τιμές ισχύος των ΦΒ σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα. Το ΦΒ ΥΑΦ εμφάνισε τη μέγιστη ισχύ και το ΦΒ ΥΑΦ 31 τη μικρότερη.

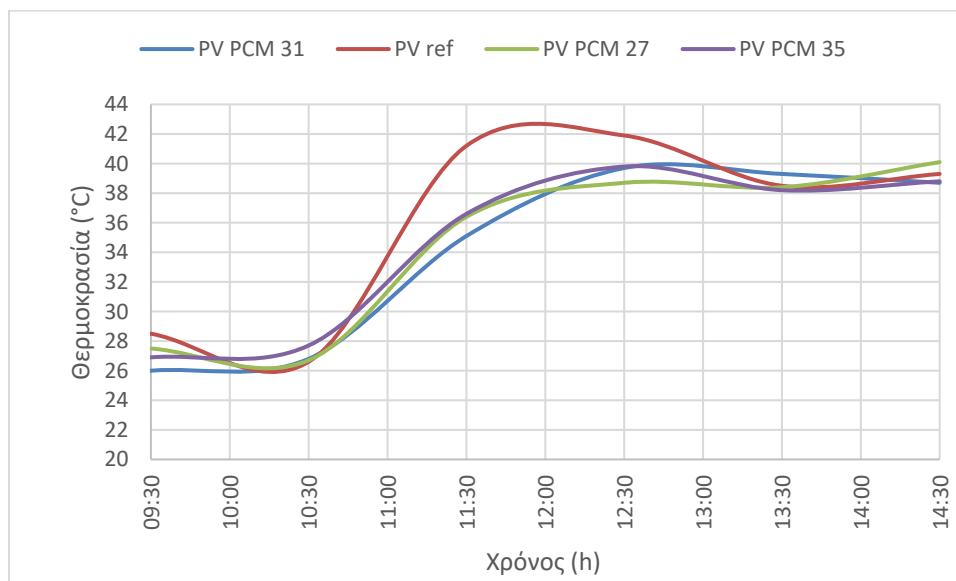
Το διάγραμμα 5.17 περιέχει τις τιμές T_{mf} συναρτήσει του χρόνου. Οι τιμές των $T_{mf,31}$, $T_{mf,ΑΝΑΦ}$, $T_{mf,27}$ και $T_{mf,35}$ κυμαίνονταν μεταξύ 26.0°C - 39.7°C, 26.6°C - 41.9°C, 26.7°C - 40.1°C και 26.9°C - 39.8°C. Η τιμή $T_{mf,ΑΝΑΦ}$ ήταν αρκετά υψηλότερη από τις 11:30 μέχρι τις 12:30 σε σχέση με τις $T_{mf,ΥΑΦ}$. Μελετώντας παράλληλα και το διάγραμμα 5.23, παρατηρήθηκε πως το ίδιο χρονικό διάστημα και η $T_{mb,ΑΝΑΦ}$ ήταν αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις $T_{mf,ΥΑΦ}$.



Διάγραμμα 5.15 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:00, $1,145\text{W/m}^2$



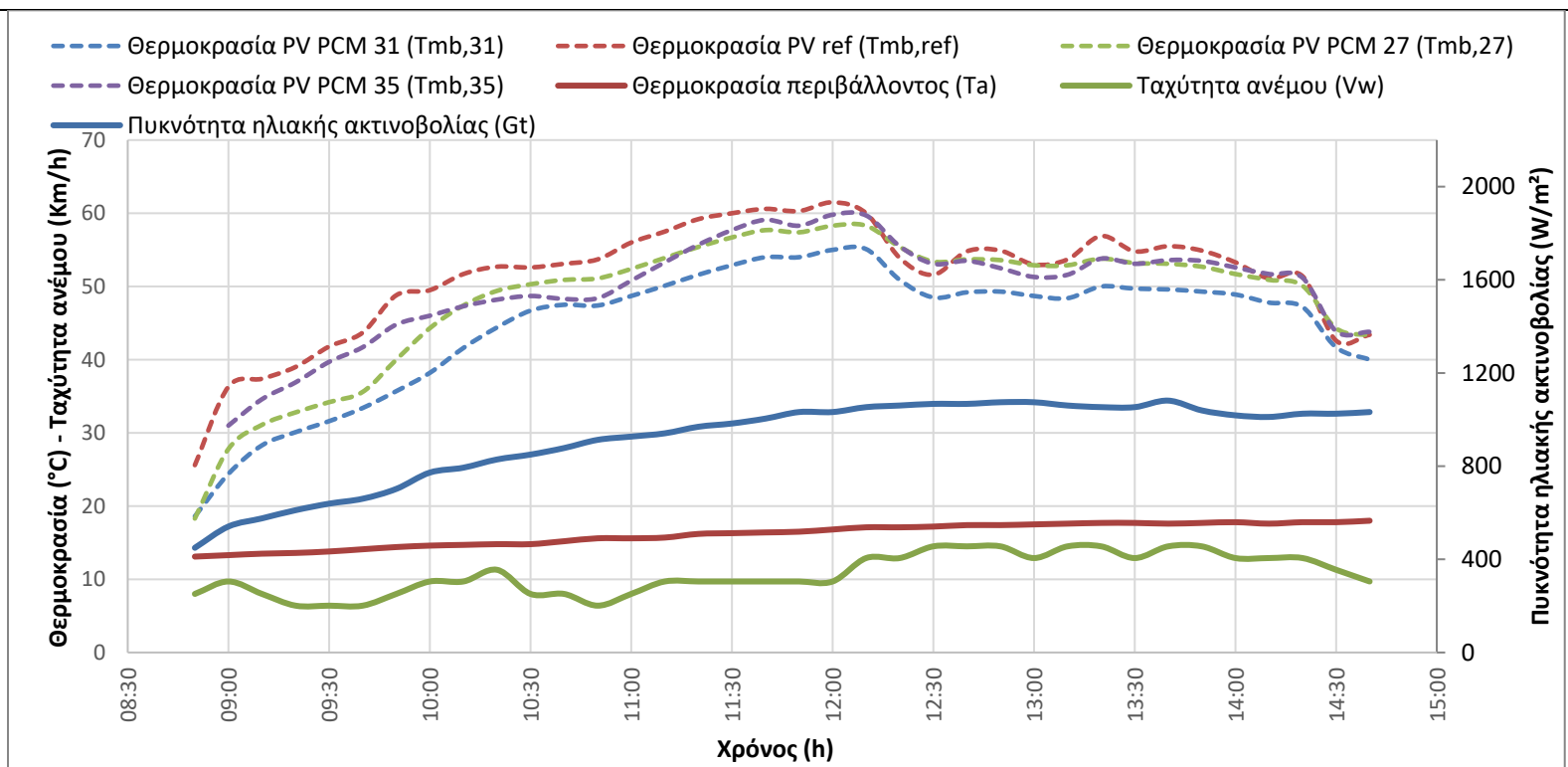
Διάγραμμα 5.16 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:00, $1,145\text{W/m}^2$



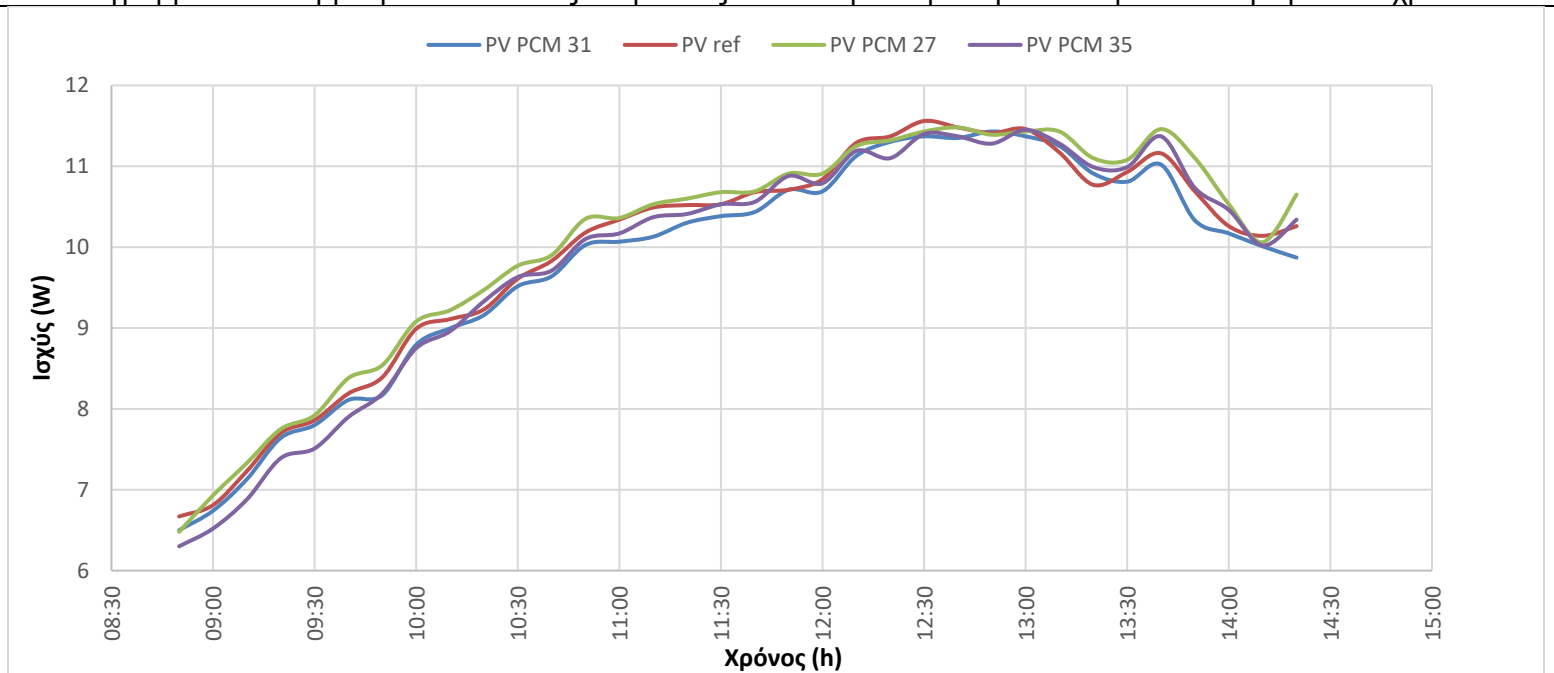
Διάγραμμα 5.17 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου

18.03.2019

Χρονική διάρκεια: 08:50-14:40 – Ηλιοφάνεια με ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.18 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



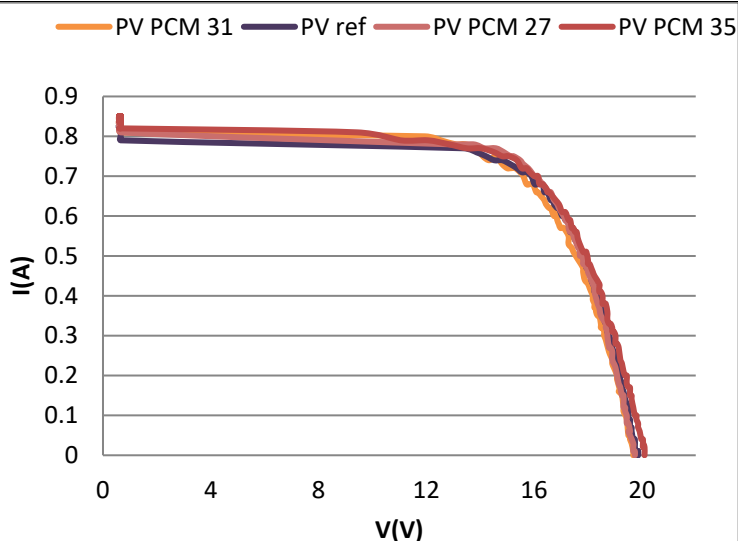
Διάγραμμα 5.19 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Στο διάγραμμα 5.18 παρουσιάζεται η τιμή T_a , η οποία έχει μέση τιμή 16.1°C και εύρος διακύμανσης $13.1^{\circ}\text{C} - 18.0^{\circ}\text{C}$, η V_w με μέση τιμή 10.7km/h , η G_t με μέγιστη τιμή 1081W/m^2 στις 13:40 και οι τιμές T_{mb} των ΦΒ. Η $T_{mb,31}$ είχε τη μικρότερη τιμή καθ'όλη τη διάρκεια της μελέτης, ενώ, η τιμή $T_{mb,ANA\Phi}$ τα πρώτα χρονικά διαστήματα μέχρι και τις 12:10 ήταν μεγαλύτερη, με τις μέγιστες διαφορές να ανήλθαν στους 13.1°C , 8.8°C και 5.3°C σε σχέση με τις τιμές $T_{mb,31}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ αντίστοιχα. Ο μέσος όρος των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ ΦΒ ANAΦ και ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27, ΦΒ ΥΑΦ 35 υπολογίστηκε στους 6.6°C , 3.0°C και 2.2°C αντίστοιχα.

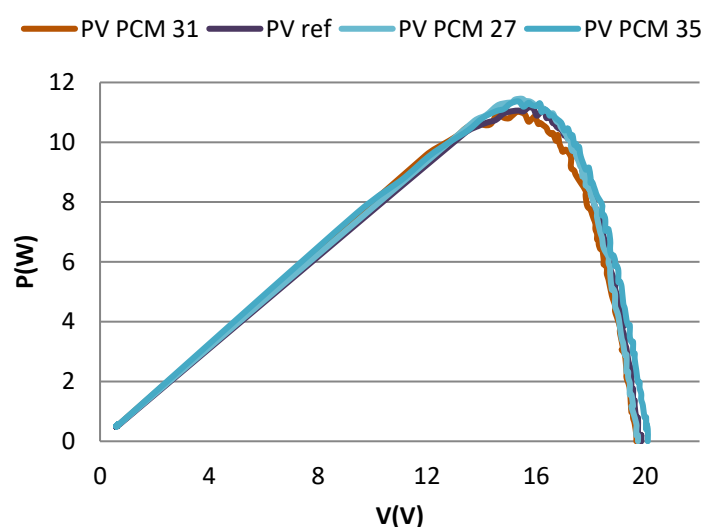
Εξετάζοντας τα πειραματικά δεδομένα ισχύος του διαγράμματος 5.19 διαπιστώθηκε ότι βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά εμφάνισε το ΦΒ ΥΑΦ 27, ειδικότερα τις πρώτες πρωινές ώρες, σε αντίθεση με το ΦΒ ΥΑΦ 35, που σε εκείνο το χρονικό διάστημα παρήγαγε τη χαμηλότερη ηλεκτρική ενέργεια. Η μέγιστη διαφορά ισχύος μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ANAΦ έφτασε στα 0.41W και σημειώθηκε στις 13:50 ($G_t=1,039\text{W/m}^2$) και ο μέσος όρος της διαφοράς ισχύος τους προσδιορίστηκε στα 0.11W . Επιπλέον, η αυξημένη ενεργειακή παραγωγή του ΦΒ ΥΑΦ 27 σε σχέση με τα υπόλοιπα ΦΒ υπογραμμίστηκε μελετώντας τις τιμές της ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας του πίνακα 5.6, με τη διαφορά μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ANAΦ να ισούταν με 1Wh .

		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ANAΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασίας	$^{\circ}\text{C}$	44.7	51.3	48.3	49.8
Απόδοση	%	10.59	10.75	10.87	10.62
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.71	0.72	0.73	0.71
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	56.55	56.13	57.13	55.22

Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας



Διάγραμμα 5.20 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:40, $1,081\text{W/m}^2$

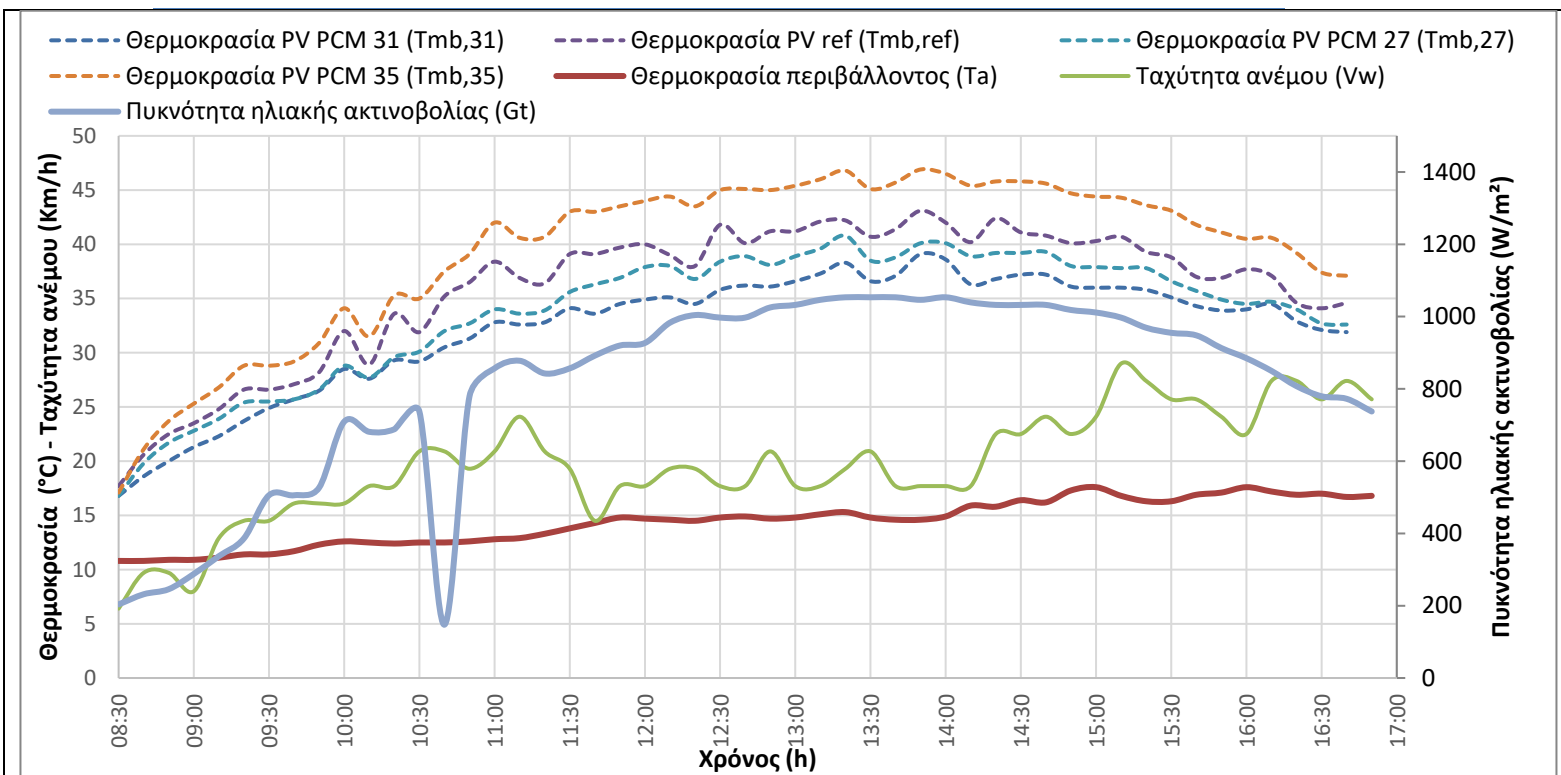


Διάγραμμα 5.21 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:40, $1,081\text{W/m}^2$

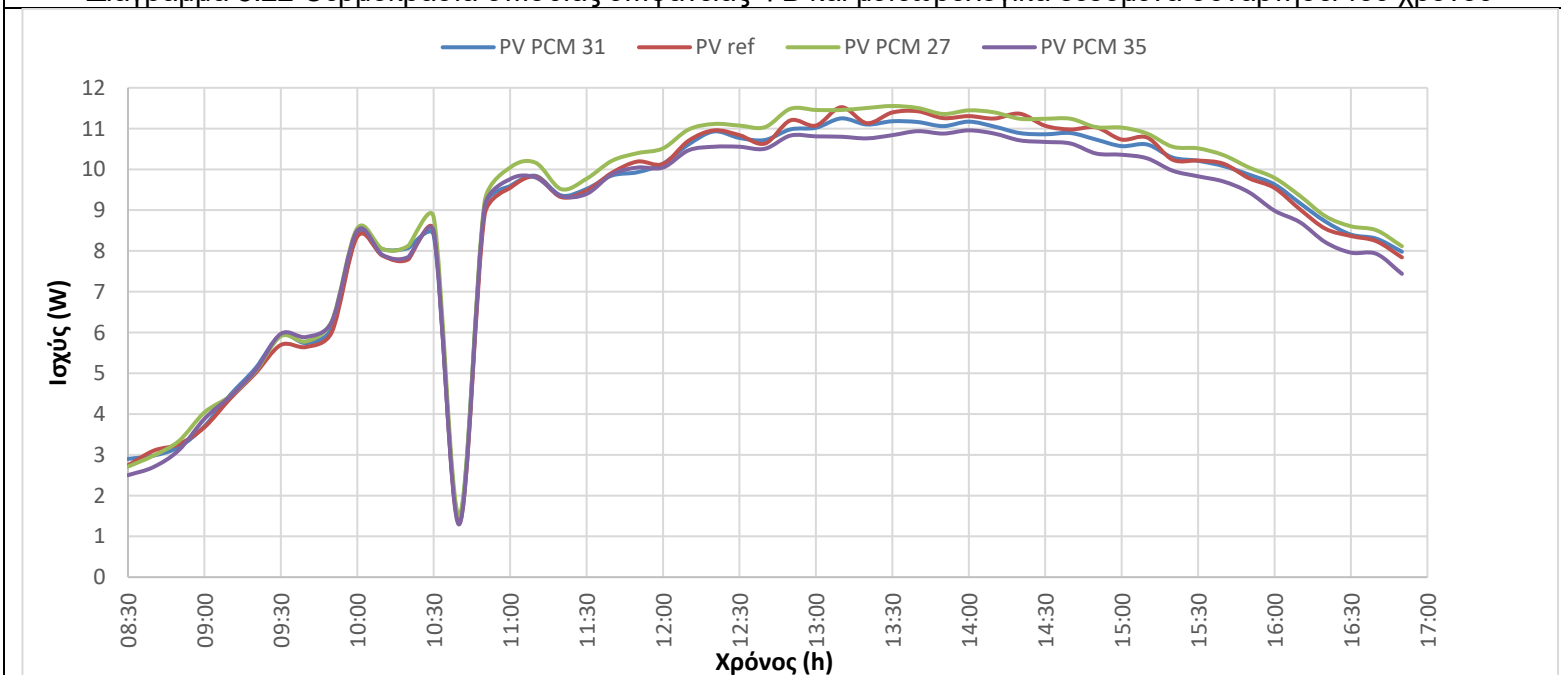
5.2.3 Απρίλιος 2019

10.04.2019

Χρονική διάρκεια: 08:30-16:50 – Ηλιοφάνεια με σχεδόν μέτριο άνεμο



Διάγραμμα 5.22 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.23 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

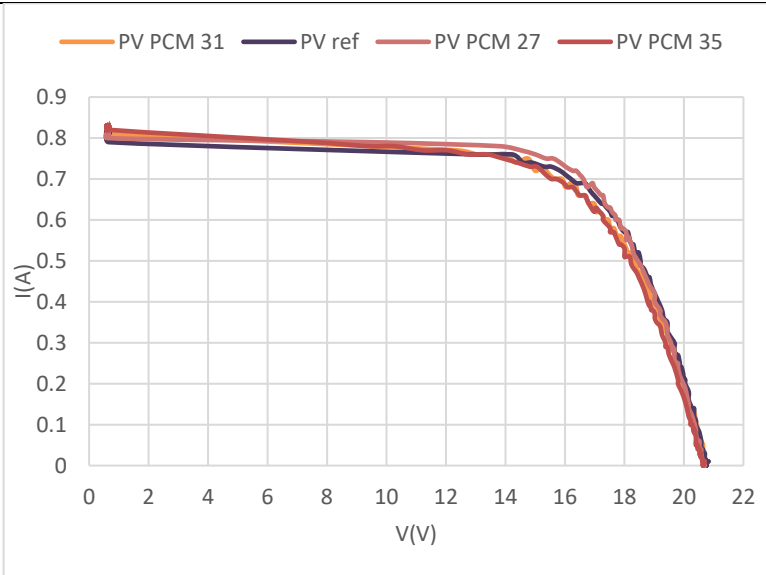
Στο διάγραμμα 5.22 απεικονίζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα T_a , V_w και G_t , καθώς και η T_{mb} των ΦΒ. Το εύρος τιμών της T_a και της V_w περιλάμβανε τις τιμές 10.8°C - 17.6°C και 6.4km/h - 29.0km/h αντίστοιχα. Η $T_{mb,31}$ παρουσίασε τις μικρότερες τιμές, η $T_{mb,27}$ τις αμέσως μικρότερες και η $T_{mb,35}$ τις μεγαλύτερες. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά του ΦΒ ΑΝΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27, υπολογίστηκε στους 6.0°C (12:30) και 4.4°C (11:00) αντίστοιχα. Γενικά, οι τιμές των $T_{mb,31}$, $T_{mb,ΑΝΑΦ}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ κυμάνθηκαν μεταξύ 16.8°C - 39.1°C , 17.7°C - 43.1°C , 16.8°C - 40.8°C και 17.1°C - 46.9°C .

Μελετώντας το διάγραμμα 5.23 εξακριβώθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισε τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση. Αντίθετα, το ΦΒ ΥΑΦ 35 απέδιδε λιγότερο, κατάσταση αναμενόμενη εξαιτίας των υψηλών τιμών $T_{mb,35}$ που καταγράφηκαν. Στις 11:00 σημειώθηκε η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΑΝΑΦ, με τη διαφορά ισχύος τους να αγγίζει τα 0.5W και ο μέσος όρος της διαφοράς ισχύος μεταξύ των δύο αυτών πλαισίων κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας υπολογίστηκε 0.21W . Το ΦΒ ΥΑΦ 31, ενώ είχε συνέχεια τις χαμηλότερες τιμές T_{mb} , δεν παρουσίασε τη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, αλλά τη δεύτερη αμέσως μεγαλύτερη με τη διαφορά ισχύος μεταξύ ΦΒ ΑΝΑΦ και ΦΒ ΥΑΦ 31 να ήταν 0.06W .

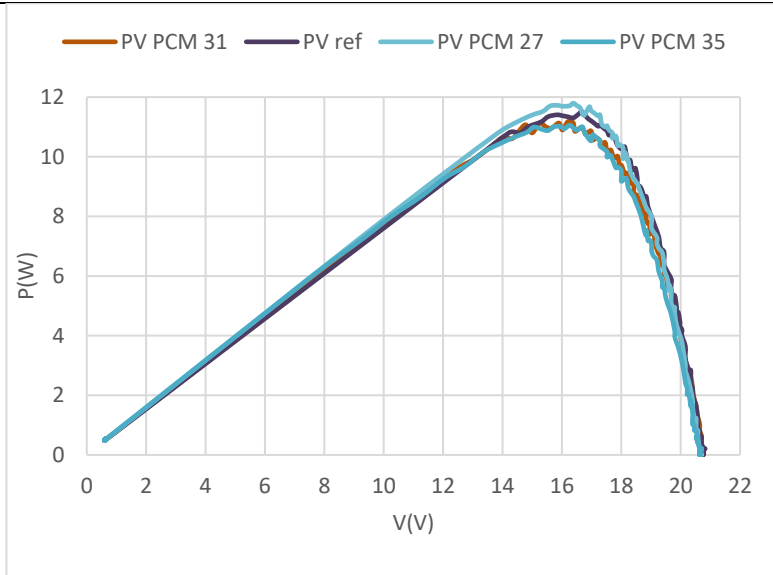
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	32.3	35.9	33.8	39.3
Απόδοση	%	10.90	10.78	11.06	10.74
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.65	0.64	0.66	0.64
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	74.26	73.73	75.51	73.38

Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

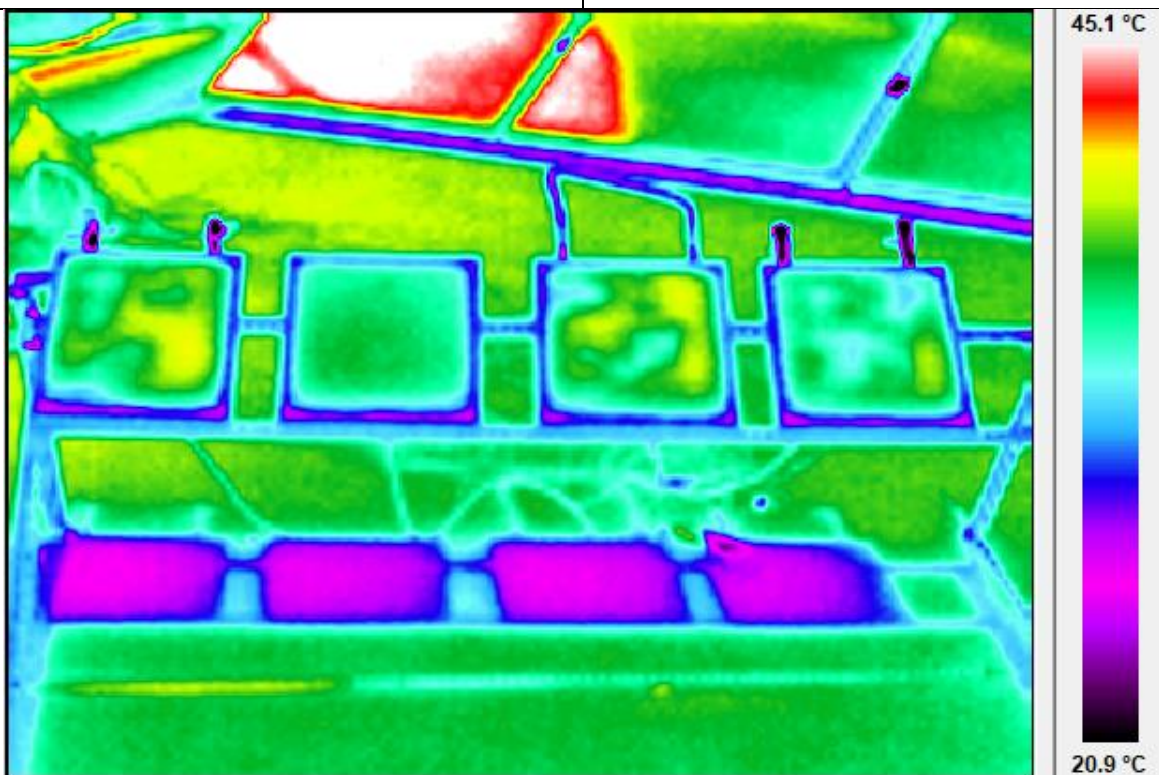
Στα διαγράμματα 5.24 και 5.25 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V τη χρονική στιγμή που καταγράφηκε η μέγιστη πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας, $1,053\text{W/m}^2$. Τη συγκεκριμένη στιγμή η διαφορά ισχύος μεταξύ του ΦΒ ΑΝΑΦ και των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27, ΦΒ ΥΑΦ 35 ήταν -0.10W , 0.16W και -0.33W -αρνητική τιμή σημαίνει πως το ΦΒ ΑΝΑΦ είχε μεγαλύτερη ισχύ.



Διάγραμμα 5.24 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, $1,053\text{W/m}^2$



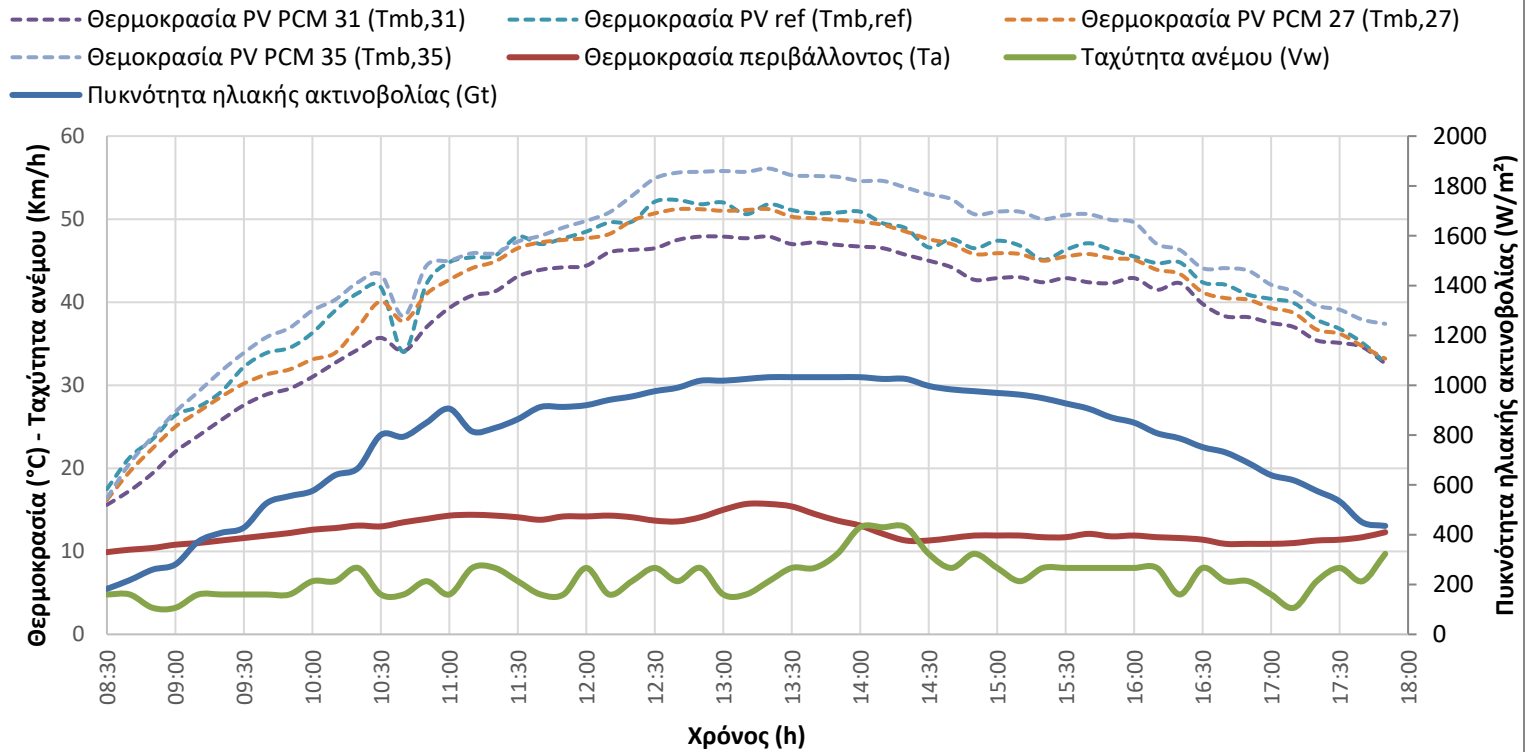
Διάγραμμα 5.25 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, $1,053\text{W/m}^2$



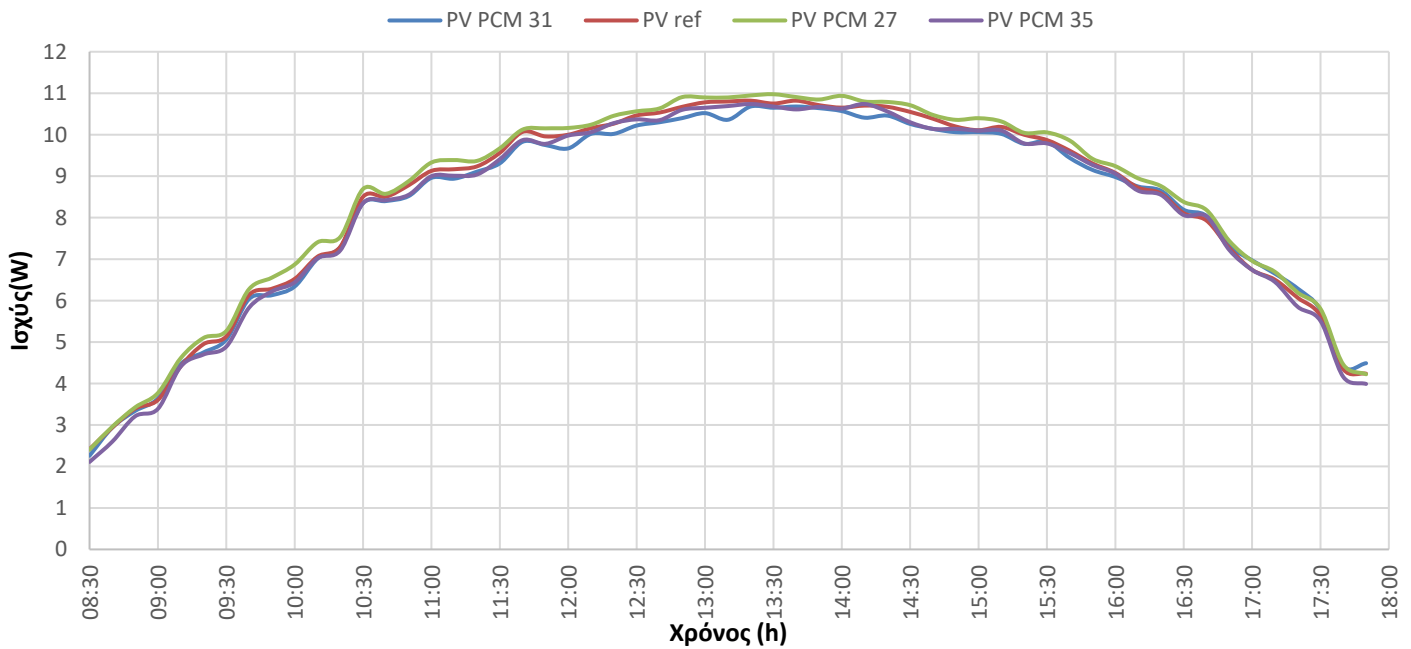
Εικόνα 5.2 Εικόνα από θερμοκάμερα, 13:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27 – ΦΒ ΥΑΦ 35)

17.04.2019

Χρονική διάρκεια: 08:30-17:50 – Ηλιοφάνεια με πολύ ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.26 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.27 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

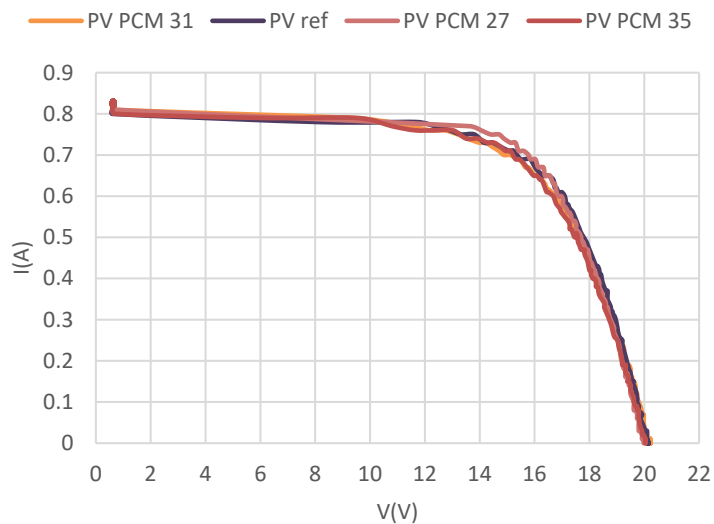
Στο διάγραμμα 5.26 παρουσιάζεται η T_a , η οποία είχε μέση τιμή 12.6°C και εύρος διακύμανσης $9.9^{\circ}\text{C} - 15.7^{\circ}\text{C}$, η V_w με μέση τιμή 6.8km/h , η G_t με μέγιστη τιμή $1,032\text{W/m}^2$ στις 13:20 και οι τιμές T_{mb} των τεσσάρων ΦΒ. Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας η τιμές της $T_{mb,31}$ ήταν μικρότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές T_{mb} , με τη μέγιστη διαφορά, σε σχέση με τις τιμές της $T_{mb,ANA\Phi}$, να καταγράφεται στις 10:20, η οποία ήταν 6.8°C . Αντίστοιχα, στις 10:10 προσδιορίστηκε η μέγιστη διαφορά τιμής $T_{mb,27}$ και $T_{mb,ANA\Phi}$, η οποία ανήλθε στους 5.1°C . Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.26 διαπιστώθηκε πως κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη μεγαλύτερη τιμή T_{mb} . Τα εύρη τιμών $T_{mb,31}$, $T_{mb,ANA\Phi}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ κυμαινόταν μεταξύ $15.6^{\circ}\text{C} - 47.9^{\circ}\text{C}$, $17.5^{\circ}\text{C} - 52.3^{\circ}\text{C}$, $16.2^{\circ}\text{C} - 51.2^{\circ}\text{C}$ και $16.4^{\circ}\text{C} - 56.1^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα.

Εξετάζοντας το διάγραμμα 5.27 βεβαιώθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 27 σημείωσε κατά τη διάρκεια σχεδόν όλων των εξεταζόμενων χρονικών στιγμών τη μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Η μέγιστη διαφορά σε σχέση με το ΦΒ ANAΦ ήταν 0.35W , στις 10:00, χρονική περίοδος που παρατηρήθηκαν και οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ τιμών $T_{mb,27}$ και $T_{mb,ANA\Phi}$. Το ΦΒ ΥΑΦ 31, ενώ είχε τη μικρότερη τιμή T_{mb} καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρήγαγε τη δεύτερη μικρότερη ποσότητα ενέργειας, μετά το ΦΒ ΥΑΦ 35. Ειδικότερα, τα χρονικά διαστήματα μεταξύ 12:00 με 15:00, που καταγράφηκαν οι μέγιστες τιμές πυκνότητας ηλιακής ισχύος, το ΦΒ ΥΑΦ 31 εμφάνιζε αρκετά μειωμένη ενεργειακή ισχύ σε σχέση με εκείνη των υπολοίπων. Τέλος, το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη χειρότερη ενεργειακή συμπεριφορά, γεγονός αναμενόμενο εξαιτίας των υψηλών τιμών $T_{mb,35}$.

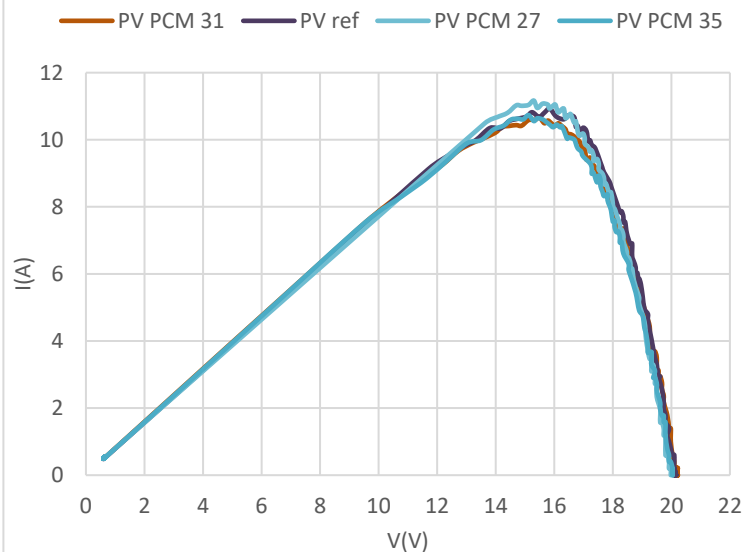
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ANAΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	38.7	42.3	41.3	44.9
Απόδοση	%	10.43	10.54	10.76	10.33
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.60	0.60	0.61	0.59
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	78.22	79.22	80.71	78.09

Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

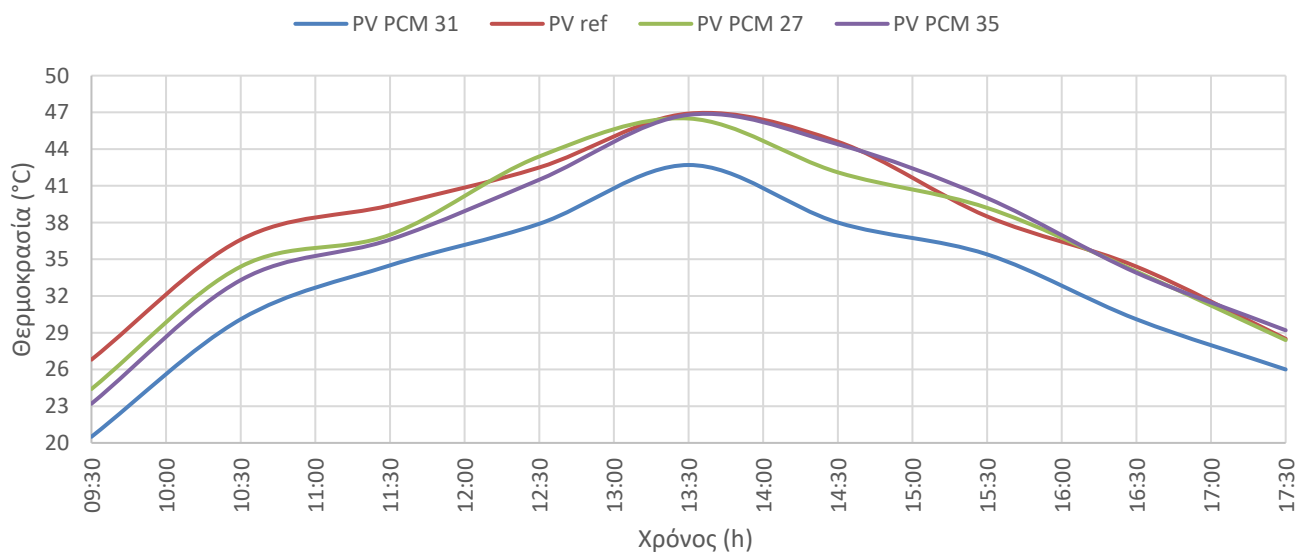
Στα διαγράμματα 5.28 και 5.29 απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V τη χρονική στιγμή μέγιστης πυκνότητας ηλιακής ισχύος, $1,032\text{W/m}^2$. Το διάγραμμα 5.30 περιέχει τις τιμές T_{mf} , με εκείνες της $T_{mf,31}$ να παρουσιάζονται αρκετά μικρότερες όλα τα χρονικά διαστήματα και της $T_{mf,ANA\Phi}$ υψηλότερες στο μεγαλύτερο μέρος της μελέτης. Μέγιστη διαφορά μεταξύ των τιμών $T_{mf,ANA\Phi}$ και $T_{mf,31}$ ήταν 6.6°C , στις 14:30, χρονικό διάστημα στο οποίο η ισχύς του ΦΒ ANAΦ ήταν 0.29W μεγαλύτερη σε σχέση με το ΦΒ ΥΑΦ 31, γεγονός μη αναμενόμενο, καθώς η μειωμένη τιμή $T_{mf,31}$ δεν συνέβαλε στη βελτίωση της ενεργειακής παραγωγής του ΦΒ ΥΑΦ 31.



Διάγραμμα 5.28 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:20, 1,032W/m²



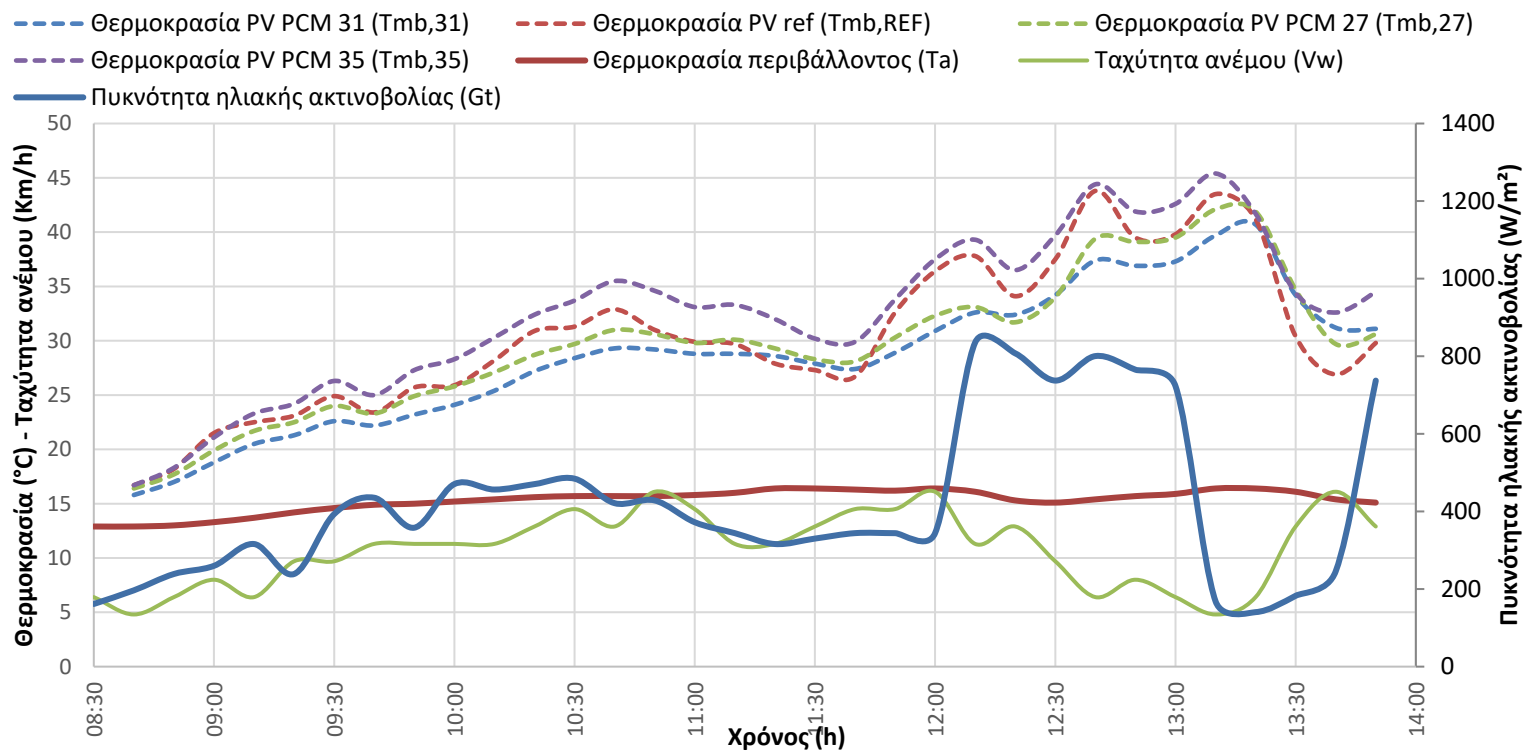
Διάγραμμα 5.29 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:20, 1,032W/m²



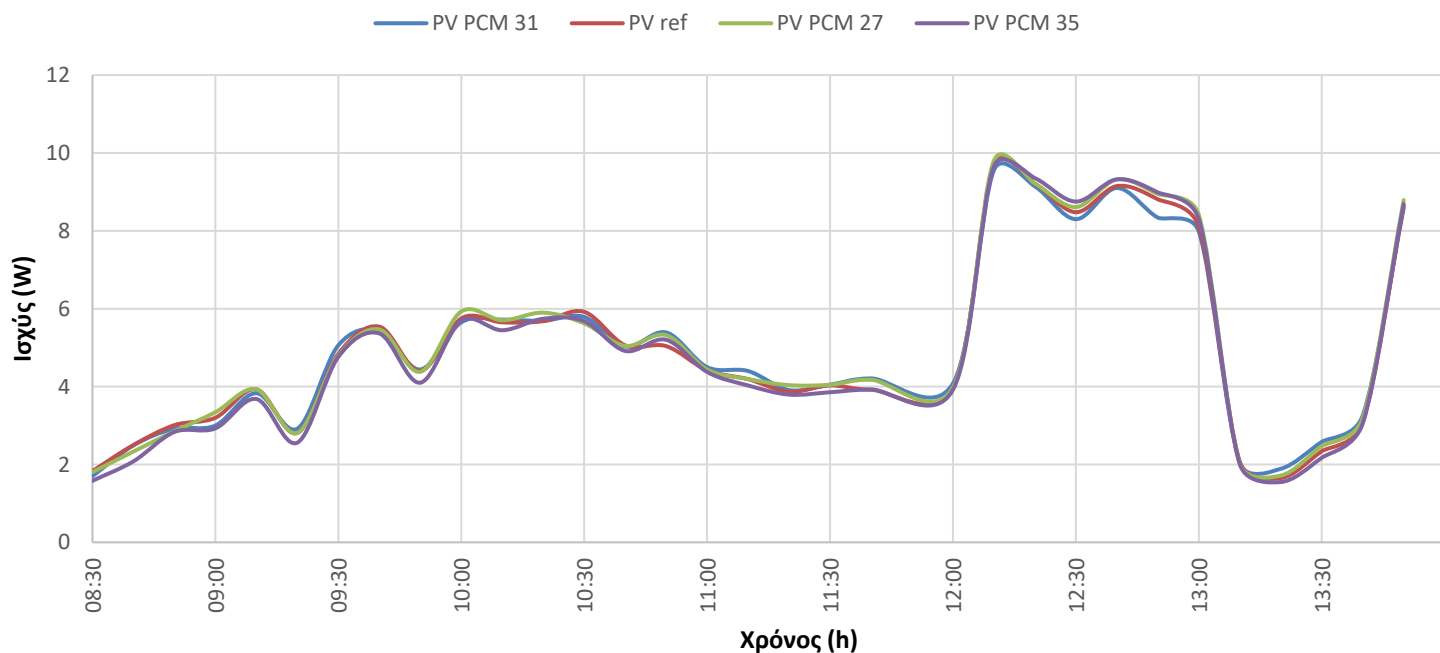
Διάγραμμα 5.30 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου

23.04.2019

Χρονική διάρκεια: 08:30-13:50 – Νεφελώδης καιρός με ασθενή άνεμο και υψηλή συγκέντρωση σκόνης



Διάγραμμα 5.31 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.32 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

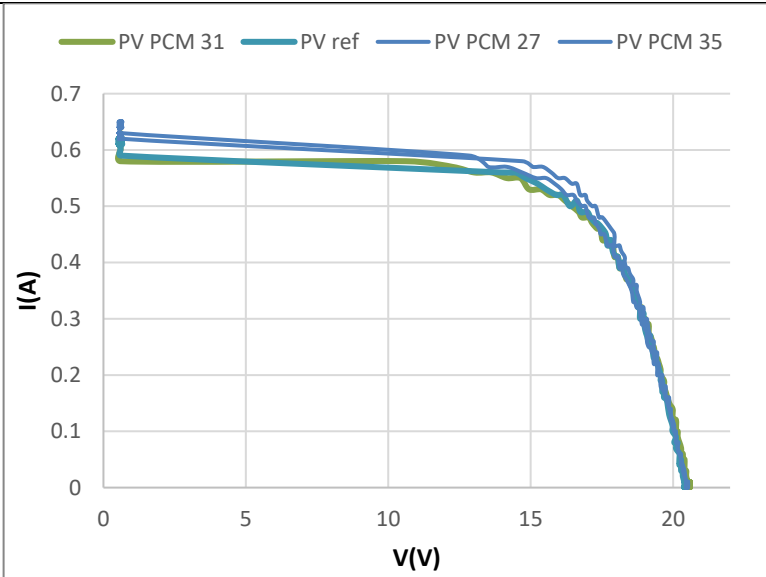
Στο διάγραμμα 5.31 απεικονίζονται οι τιμές T_{mb} και τα μετεωρολογικά στοιχεία G_t , V_w και T_a . Τη συγκεκριμένη ημέρα υπήρχε μεγάλη συγκέντρωση αφρικανικής σκόνης στην ατμόσφαιρα, με τις τιμές της G_t να μεταβάλλονται συνέχεια. Η μέση τιμή της V_w και της T_a ήταν 15.3°C και 10.8km/h αντίστοιχα. Οι τιμές της $T_{mb,35}$ ήταν υψηλότερες σχεδόν όλες τις χρονικές στιγμές, ενώ, της $T_{mb,31}$ οι μικρότερες στο μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Οι τιμές των $T_{mb,31}$, $T_{mb,ANA\Phi}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ κυμάνθηκαν μεταξύ $15.8^{\circ}\text{C} - 40.7^{\circ}\text{C}$, $16.7^{\circ}\text{C} - 43.8^{\circ}\text{C}$, $16.4^{\circ}\text{C} - 42.1^{\circ}\text{C}$ και $16.7^{\circ}\text{C} - 45.4^{\circ}\text{C}$. Το χρονικό διάστημα 12:10 με 13:00 η τιμή της G_t αυξήθηκε και παρατηρήθηκε απότομη αύξηση των τιμών της $T_{mb,35}$ και $T_{mb,ANA\Phi}$, με τις τελευταίες να διαφέρουν μέχρι και 6.4°C από τις τιμές της $T_{mb,31}$ και 4.7°C από εκείνες της $T_{mb,27}$. Μετά τις 13:10 καταγράφηκαν ξανά μειωμένες τιμές G_t , οι οποίες συνοδεύτηκαν με σημαντική μείωση των τιμών της $T_{mb,ANA\Phi}$.

Στο διάγραμμα 5.32 παρουσιάζεται η ηλεκτρική ισχύς συναρτήσει του χρόνου. Δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες διαφορές ισχύος μεταξύ των ΦΒ. Συνολικά, το ΦΒ ΥΑΦ 27 είχε τη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, ενώ, το ΦΒ ΥΑΦ 35 τη χειρότερη. Το χρονικό διάστημα 12:10 με 13:00, που σημειώθηκαν οι μέγιστες διαφορές τιμών των T_{mb} μεταξύ ΦΒ ANAΦ και ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27, δεν σημειώθηκαν αντίστοιχα και ανάλογες διαφορές στην ενεργειακή παραγωγή. Η ισχύς του ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 ήταν ελάχιστα αυξημένη σε σχέση με του ΦΒ ANAΦ.

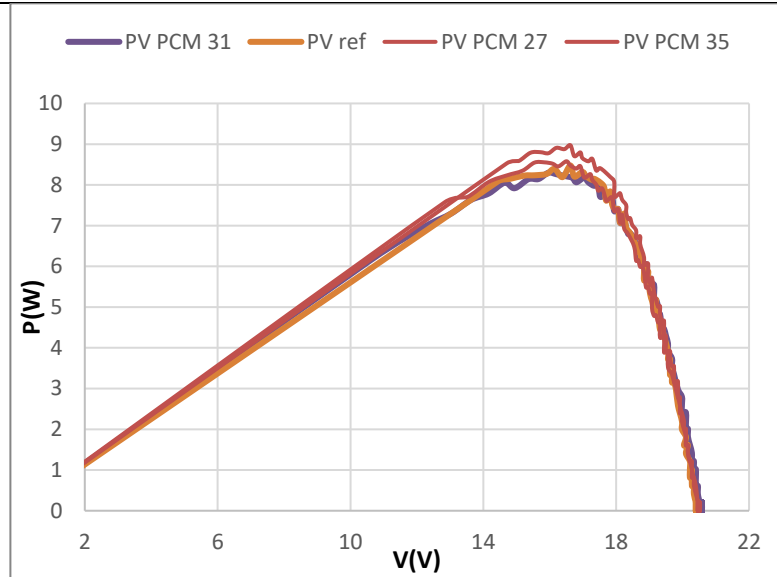
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ANAΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	28.6	30.3	29.6	32.5
Απόδοση	%	11.71	11.61	11.72	11.03
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.36	0.36	0.37	0.36
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	27.51	27.47	27.77	27.04

Πίνακας 5.9 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

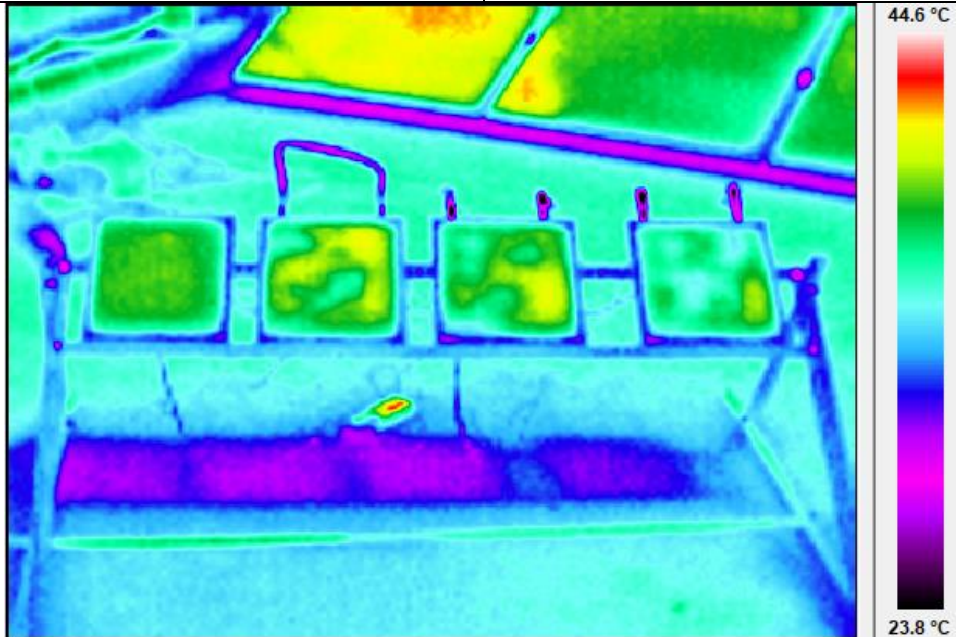
Στα διαγράμματα 5.33, 5.34 και στην εικόνα 5.3 απεικονίζονται τα ηλεκτρικά και θερμικά χαρακτηριστικά στις 12:30, χρονική περίοδο που σημειώθηκαν οι μέγιστες τιμές G_t . Ενώ, οι τιμές της $T_{mb,31}$ και $T_{mb,27}$ ήταν μικρότερες από εκείνες της $T_{mb,ANA\Phi}$, στην εικόνα 5.3 από τη θερμοκάμερα εμφανίζονται σημεία πάνω στα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 που η θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του ΦΒ ANAΦ εξαιτίας της τήξης των ΥΑΦ.



Διάγραμμα 5.33 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 12:30, 737W/m^2



Διάγραμμα 5.34 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 12:30, 737W/m^2

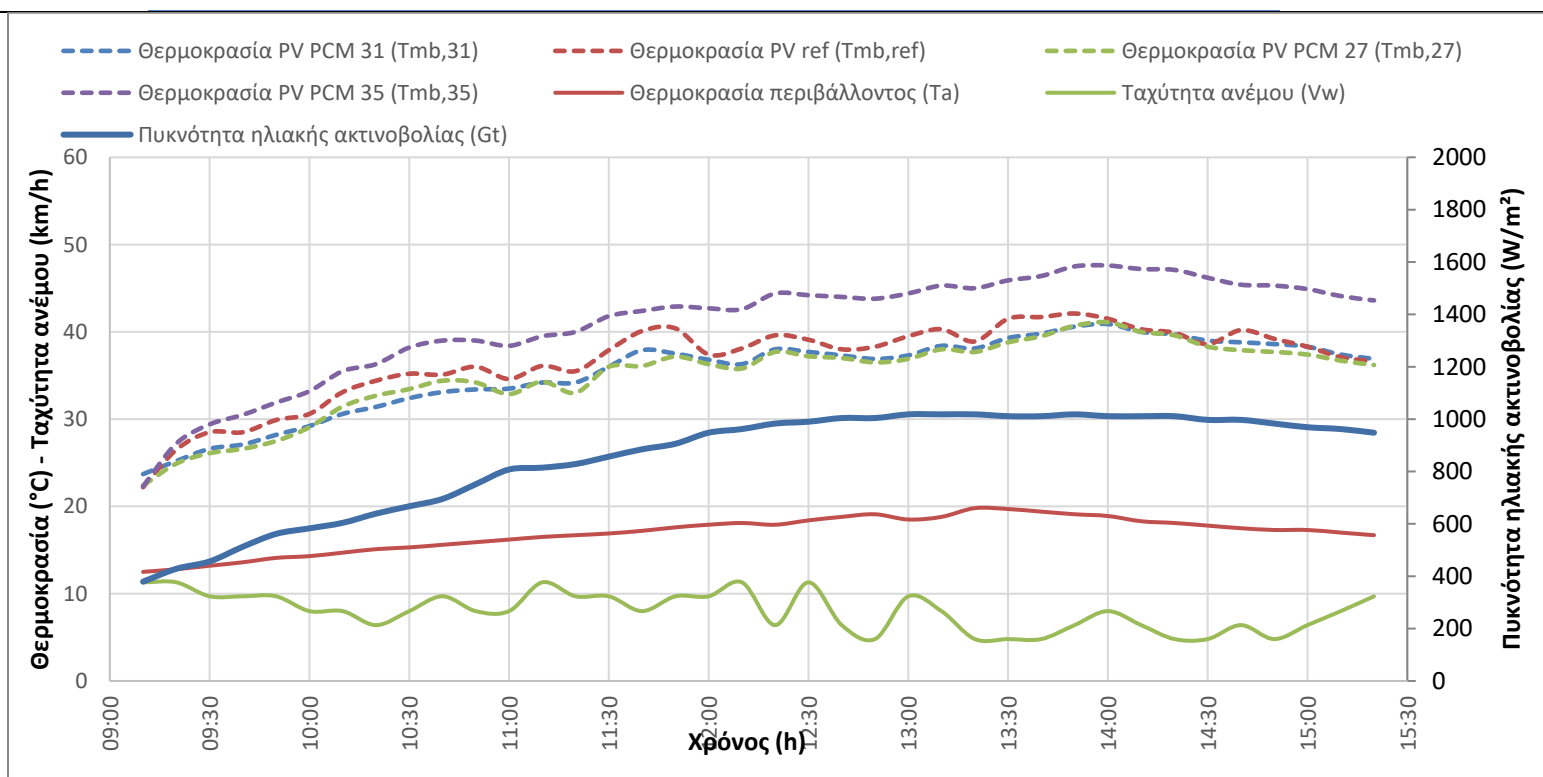


Εικόνα 5.3 Εικόνα από θερμικάμερα, 12:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΥΑΦ 31)

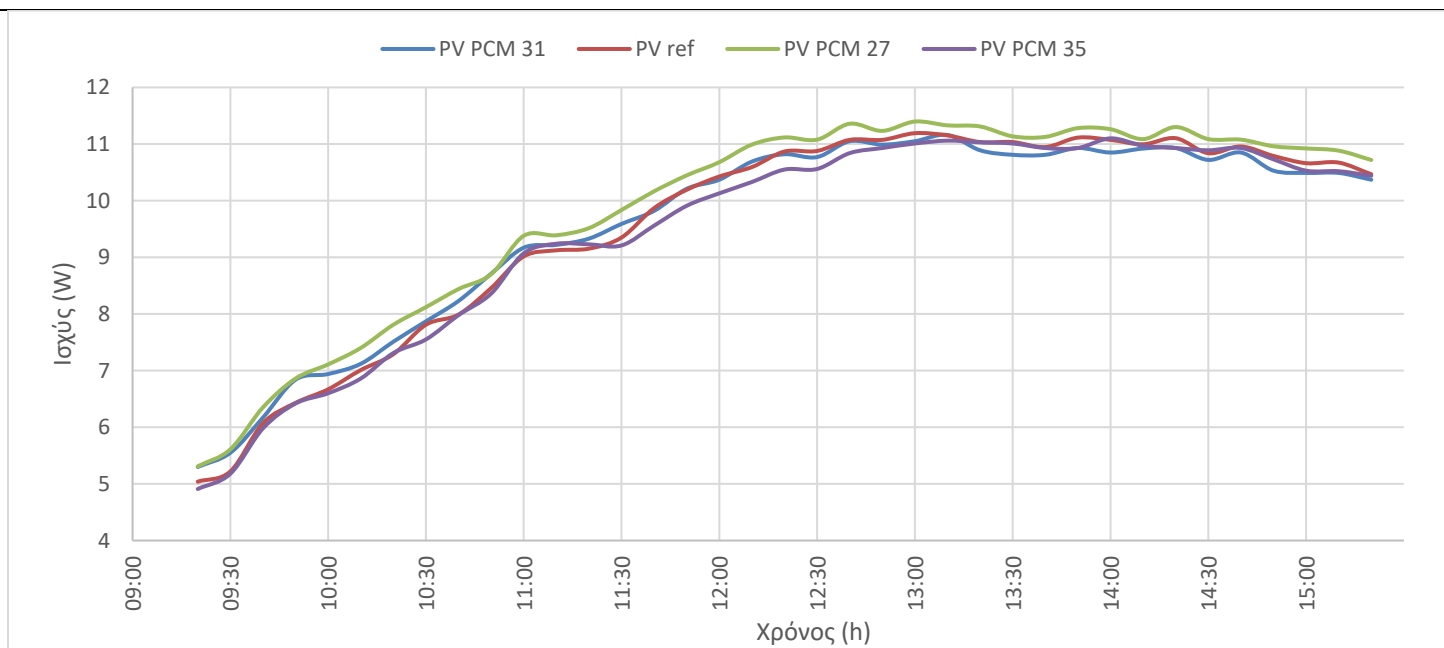
5.2.4 Μάιος 2019

02.05.2019

Χρονική διάρκεια : 09:10 – 15:20 Ηλιοφάνεια με πολύ ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.35 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



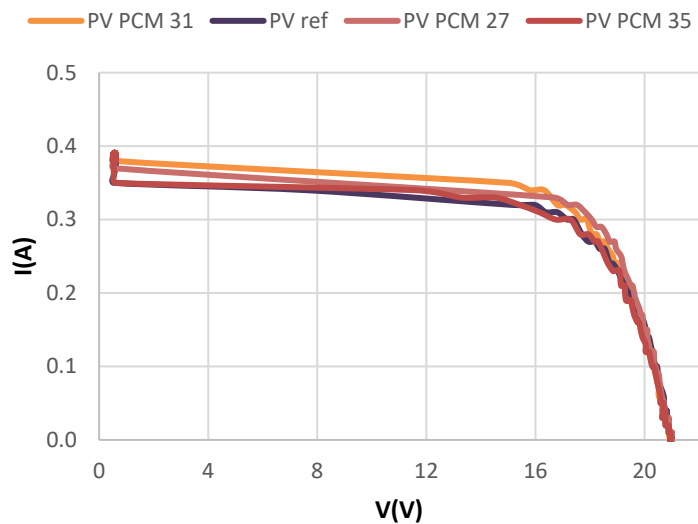
Διάγραμμα 5.36 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Στο διάγραμμα 5.35 παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα των T_{mb} σε αντιπαράβολή με την V_w , T_a και τις πειραματικές καταγεγραμμένες τιμές G_t . Το εύρος τιμών των T_{mb} κυμάνθηκε μεταξύ 23.7°C - 40.9°C, 22.2°C - 42.1°C, 22.4°C - 41.1°C και 22.3°C - 47.6°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΥΑΦ 35 αντίστοιχα και το εύρος της T_a και V_w μεταξύ 12.5°C - 19.8°C και 4.8km/h - 11.3km/h αντίστοιχα. Οι τιμές των $T_{mb,31}$, $T_{mb,ΑΝΑΦ}$ και $T_{mb,27}$ ήταν παρόμοιες, ενώ οι τιμές της $T_{mb,35}$ αρκετά μεγαλύτερες καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, γεγονός που εξηγεί και τις μειωμένες τιμές ηλεκτρικής ισχύος του ΦΒ ΥΑΦ 35 του διαγράμματος 5.36. Η μέγιστη διαφορά τιμών της $T_{mb,27}$ με τη $T_{mb,ΑΝΑΦ}$, ίση με 4.0°C, σημειώθηκε στις 11:40, χρονική στιγμή κατά την οποία η ισχύς του ΦΒ ΥΑΦ 31 ήταν μεγαλύτερη κατά 0.3W από εκείνη του ΦΒ ΑΝΑΦ.

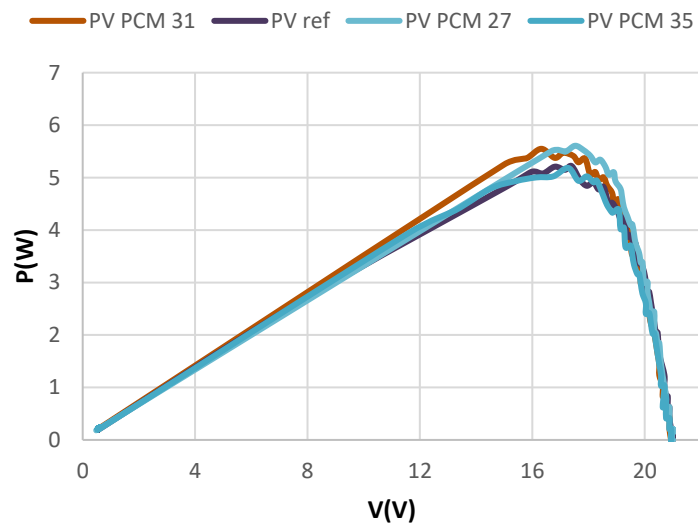
Από το διάγραμμα 5.36 παρατηρείται πως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς των ΦΒ ΑΝΑΦ και ΦΒ ΥΑΦ 27 καταγράφηκε στις 12:40, ίση με 11.19W και 11.40W αντίστοιχα, του ΦΒ ΥΑΦ 35 στις 14:00, 11.19W και του ΦΒ ΥΑΦ 31 στις 13:10, 11.16W. Όλα τα χρονικά διαστήματα, το ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισε την υψηλότερη ισχύ με τη μέση και μέγιστη τιμή της διαφοράς ισχύος σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ να ανήλθε στα 0.27W και 0.52W αντίστοιχα. Το ΦΒ ΥΑΦ 31 τις πρώτες πρωινές ώρες μέχρι και τις 11:40 είχε τη δεύτερη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, ενώ το ΦΒ ΥΑΦ 35 και ΦΒ ΑΝΑΦ τη χειρότερη. Το χρονικό διάστημα 11:40 με 13:00 τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΑΝΑΦ παρήγαγαν σχεδόν την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ενώ, το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε αρκετά μειωμένη ενεργειακή παραγωγή. Μετά τις 13:00 η ηλεκτρική ισχύς του ΦΒ ΥΑΦ 31 σημείωσε πτώση σε σχέση με τις υπόλοιπες, σε αντίθεση με το ΦΒ ΥΑΦ 35 το οποίο βελτιώθηκε ενεργειακά.

		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	35.3	36.6	35.0	40.9
Απόδοση	%	10.84	10.78	11.12	10.66
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.69	0.69	0.71	0.68
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	59.01	58.94	60.63	58.29

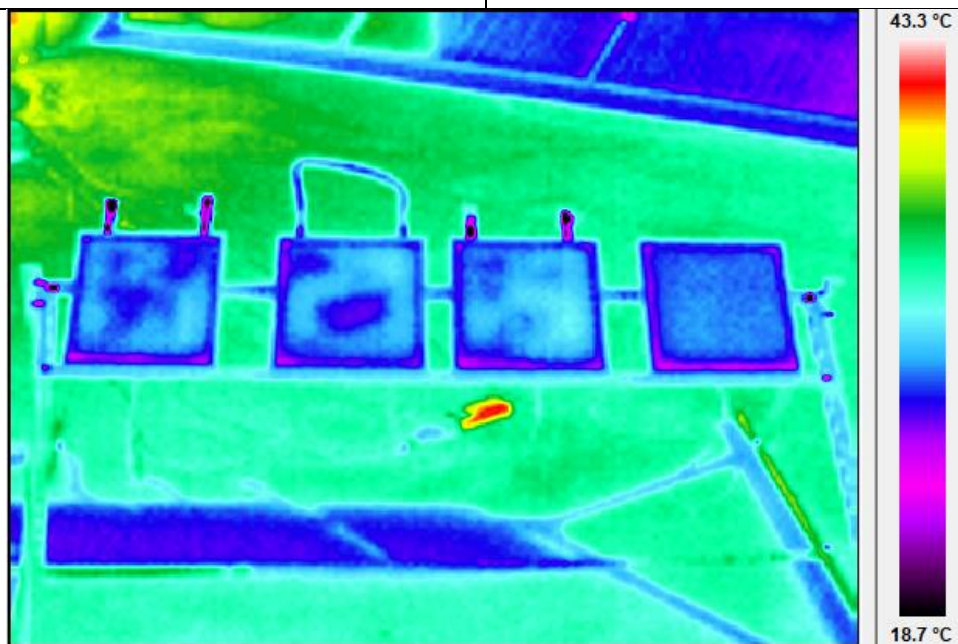
Πίνακας 5.10 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας



Διάγραμμα 5.37 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 09:30, 456W/m^2



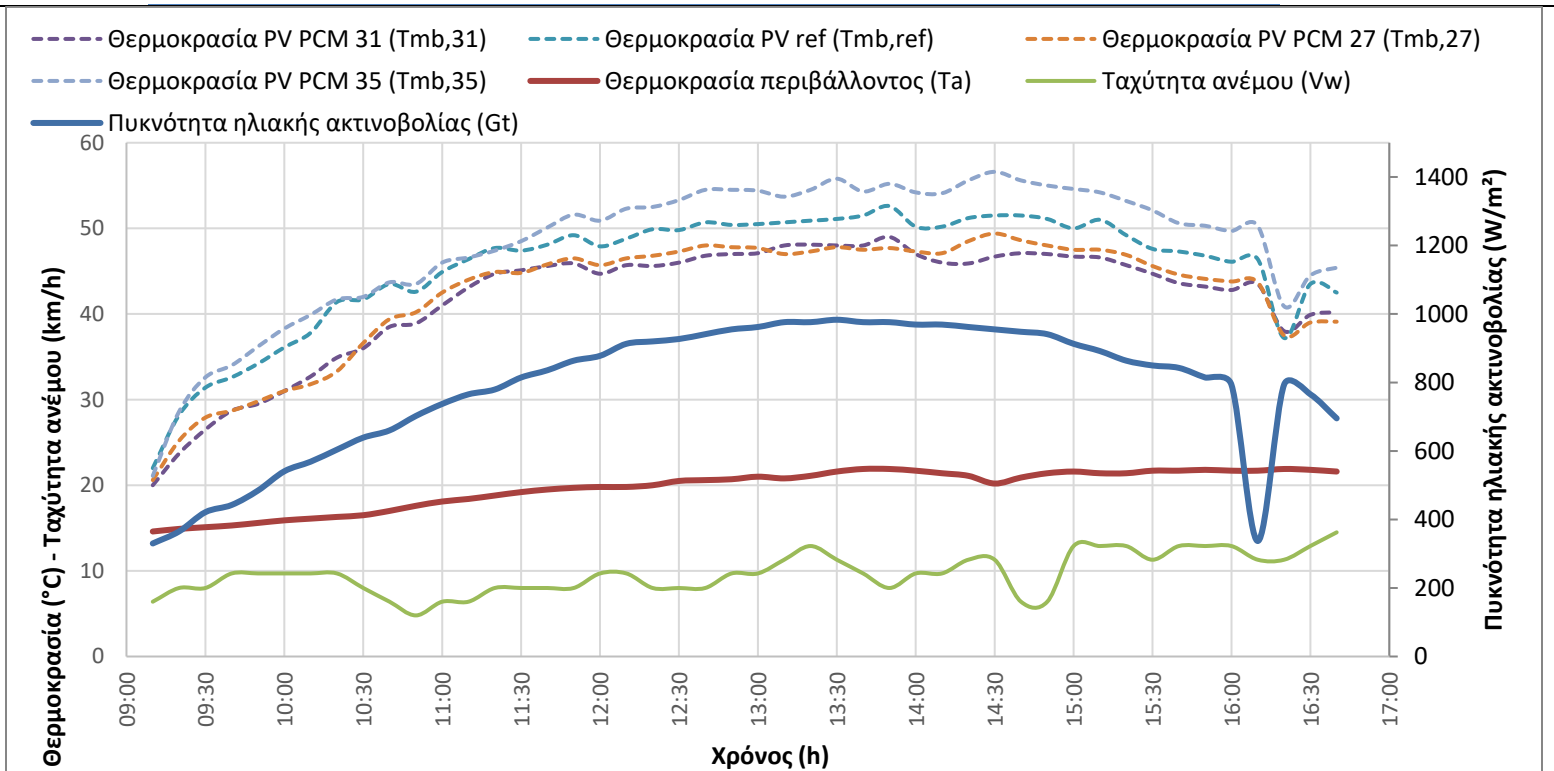
Διάγραμμα 5.38 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 09:30, 456W/m^2



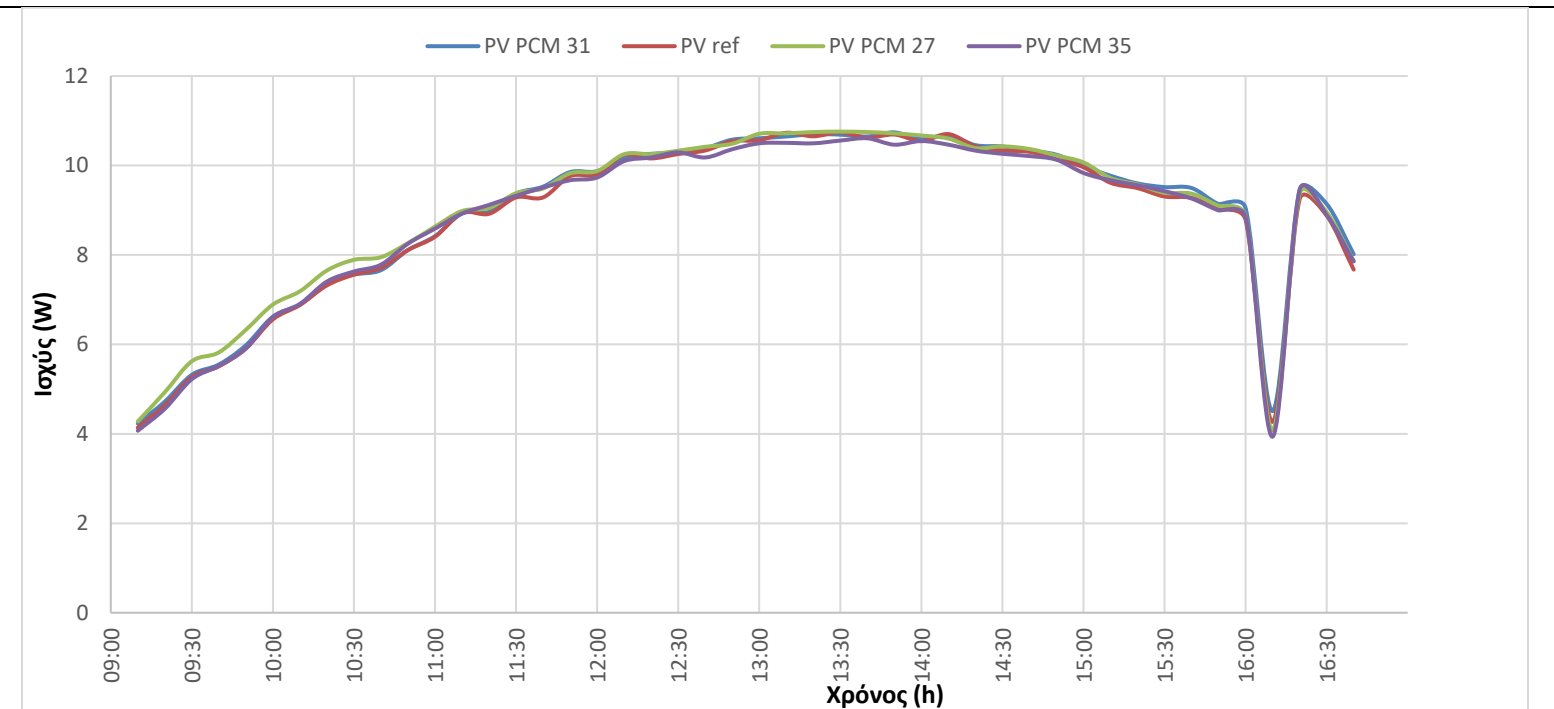
Εικόνα 5.4 Εικόνα από θερμικάμερα, 09:30
(Από αριστερά ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 27 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ)

03.05.2019

Χρονική διάρκεια: 09:10-16:40 – Ηλιοφάνεια με ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.39 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.40 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

Από το διάγραμμα 5.39 συμπεραίνεται πως το εύρος τιμών της V_w και T_a ήταν 4.8km/h-14.5km/h και 14.6°C-21.9°C αντίστοιχα. Οι τιμές της $T_{mb,ANAΦ}$ και $T_{mb,27}$ ήταν παρόμοιες και μικρότερες όλα τα εξεταζόμενα χρονικά διαστήματα, ενώ εκείνες της $T_{mb,35}$ μεγαλύτερες. Ο μέσος όρος θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΑΝΑΦ προσδιορίστηκε στους 3.2°C και η μέγιστη τιμή, 8.1°C, καταγράφηκε στις 10:20, χρονική στιγμή κατά την οποία η ισχύς του ΦΒ ΥΑΦ 27 ήταν 0.33W μεγαλύτερη από του ΦΒ ΑΝΑΦ. Αντίστοιχα, ο μέσος όρος θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΑΝΑΦ ήταν 3.7 και η μέγιστη τιμή 6.5°C, στις 10:20.

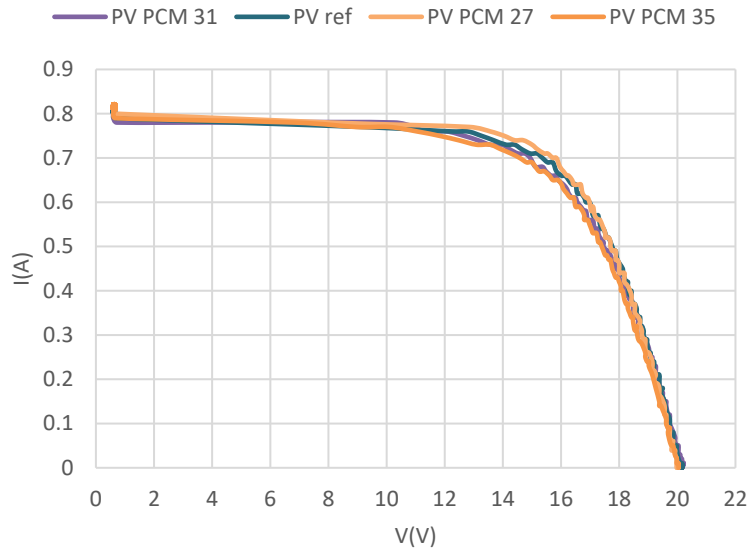
Στο διάγραμμα 5.40 που παρουσιάζονται οι τιμές ισχύος κάθε ΦΒ συναρτήσει του χρόνου, δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των ΦΒ, με εξαίρεση τα πρώτα χρονικά διαστήματα που το ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνιζε τις μέγιστες τιμές και το χρονικό διάστημα 12:30 με 14:30 που το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη χειρότερη ενεργειακή συμπεριφορά. Υπολογίστηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 27 και το ΦΒ ΥΑΦ 31 κατά μέσο όρο είχαν 0.12W και 0.08W αντίστοιχα, μεγαλύτερη ισχύ από το ΦΒ ΑΝΑΦ.

		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	41.8	45.5	42.4	48.1
Απόδοση	%	11.11	11.00	11.19	10.97
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.65	0.64	0.65	0.64
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	68.51	67.92	68.87	67.77

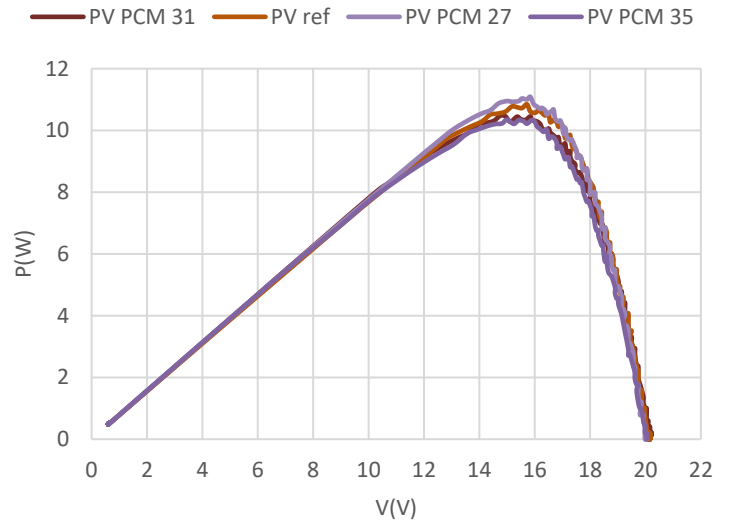
Πίνακας 5.11 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

Τα διαγράμματα 5.41 και 5.42 απεικονίζουν τη χαρακτηριστική καμπύλη I-V και P-V αντίστοιχα, τη χρονική στιγμή μέγιστης τιμής G_t , 983W/m². Η ενεργειακή ισχύς των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 προσδιορίστηκε στα 10.69W, 10.74W, 10.76W και 10.56W αντίστοιχα.

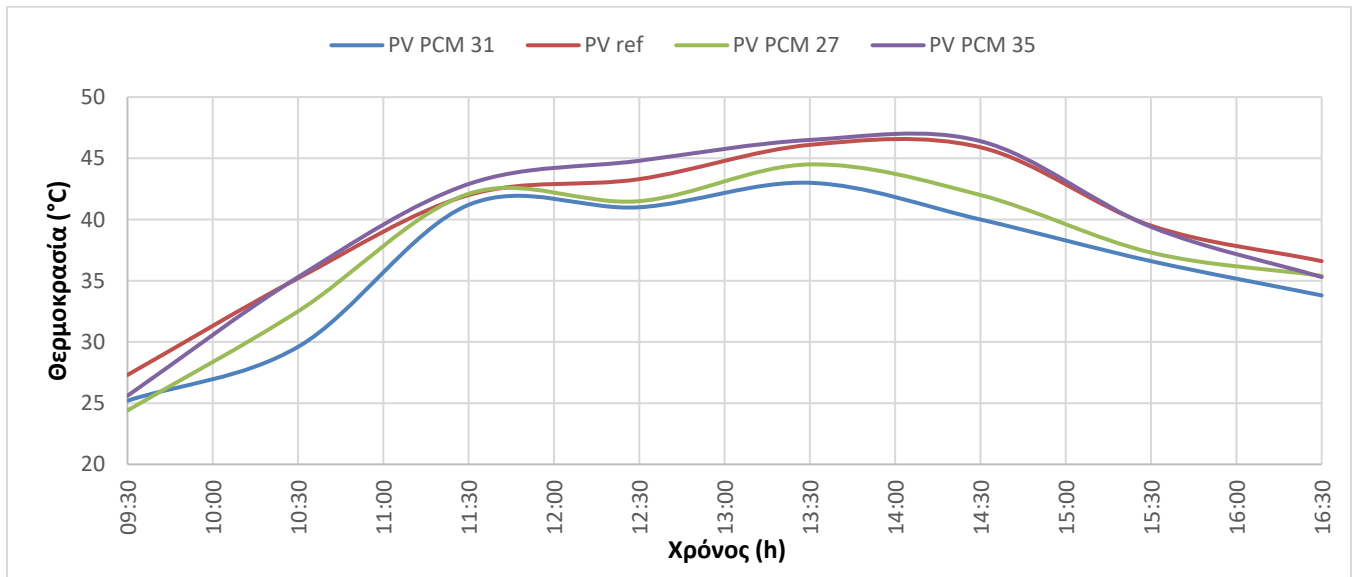
Από το διάγραμμα 5.43 των τιμών των T_{mf} συναρτήσει του χρόνου, διαπιστώθηκε πως η $T_{mf,35}$ και η $T_{mf,ANAΦ}$ είχαν τις μέγιστες τιμές, ενώ, η $T_{mf,31}$ τις ελάχιστες. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά ΦΒ ΑΝΑΦ με ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 υπολογίστηκε στους 5.9°C και 3.9°C αντίστοιχα, στις 14:30.



Διάγραμμα 5.41 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:30, 983W/m²



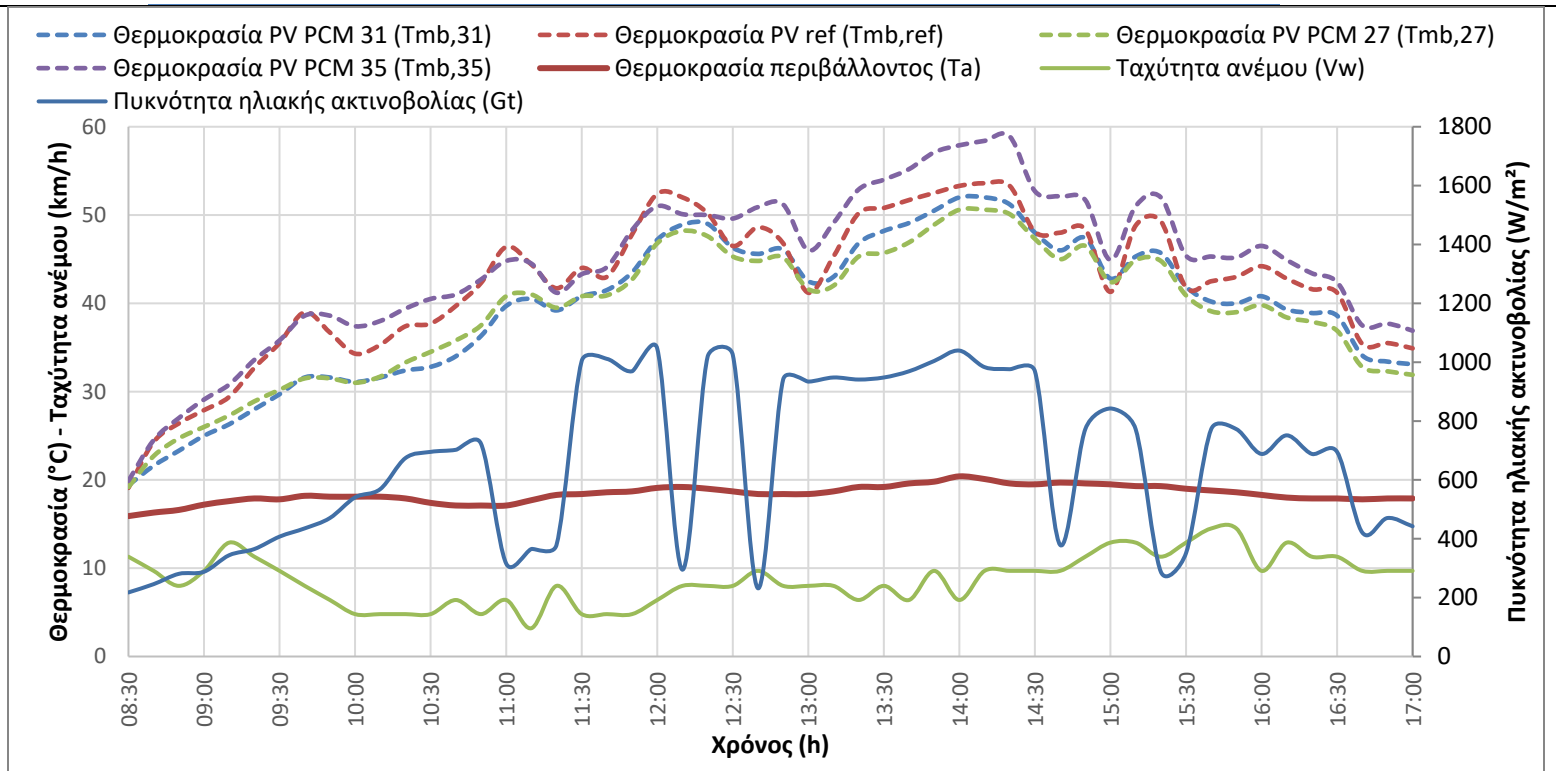
Διάγραμμα 5.42 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:30, 983W/m²



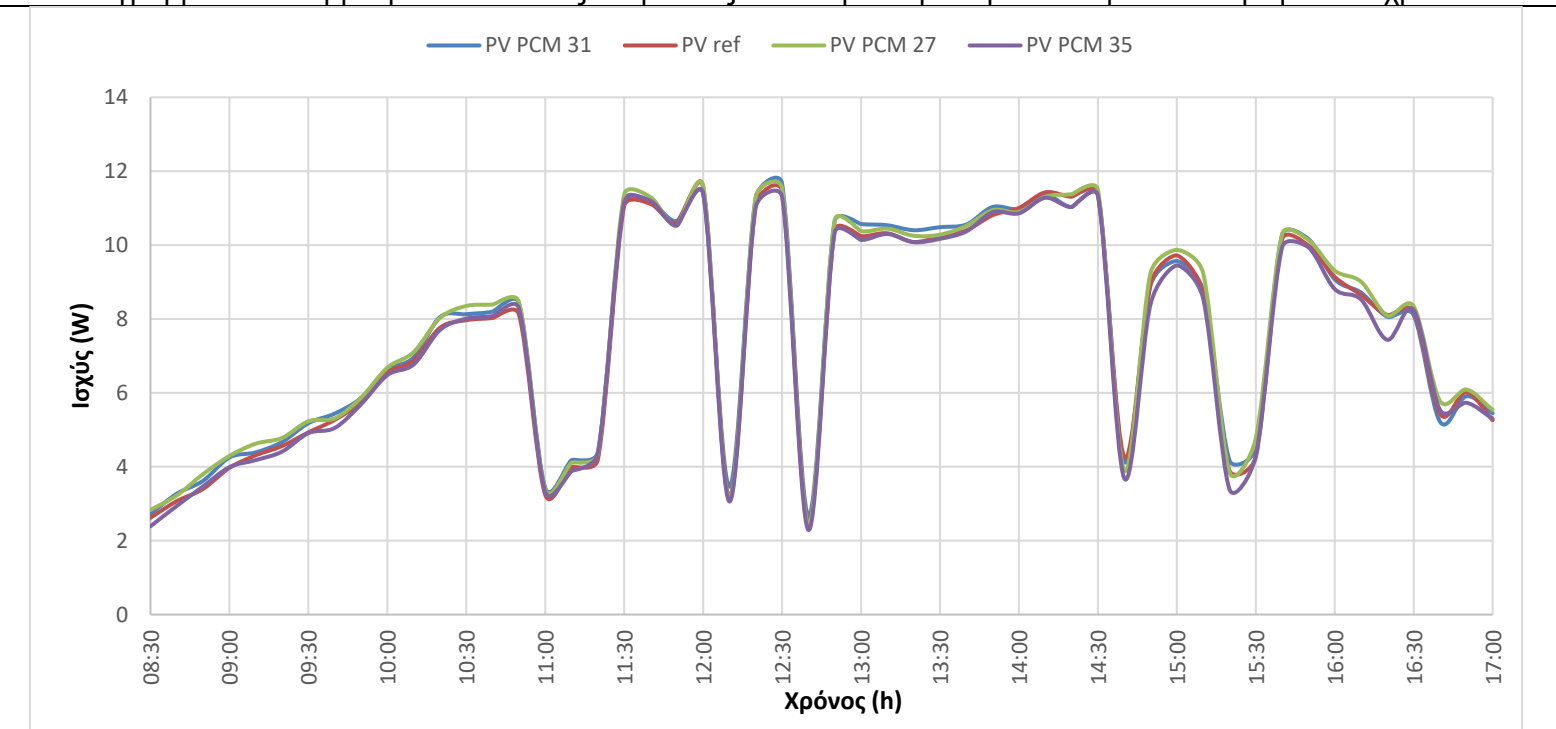
Διάγραμμα 5.43 Θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ συναρτήσει του χρόνου

13.05.2019

Χρονική διάρκεια: 08:30-17:00 – Μερικώς νεφελώδης καιρός με ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.44 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.45 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

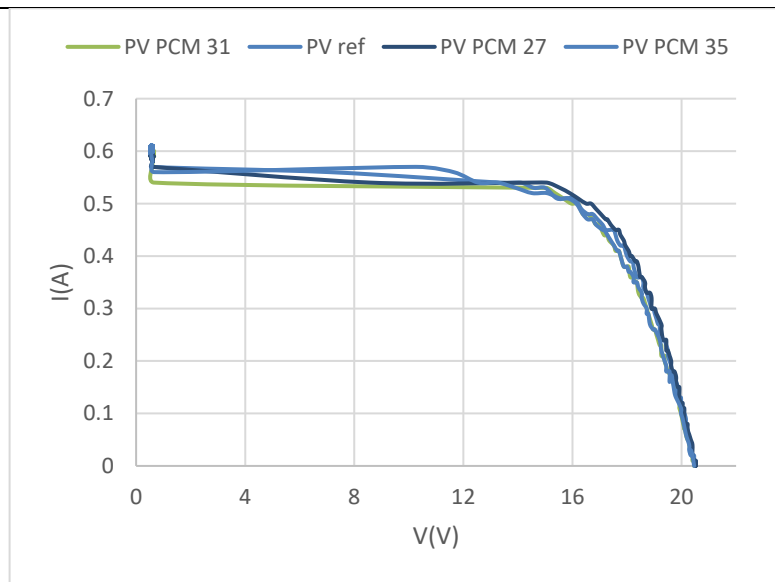
Μελετώντας τη καμπύλη G_t του διαγράμματος 5.44 συμπεράθηκε ότι πρόκειται για μία ανοιξιάτικη ημέρα με μεγάλες διακυμάνσεις ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέση τιμή της V_w και της T_a προσδιορίστηκε στα 8.7km/h και 18.4°C αντίστοιχα. Σχεδόν σε ολόκληρη την πειραματική διαδικασία οι τιμές της $T_{mb,31}$ και $T_{mb,27}$ ήταν παρόμοιες και χαμηλότερες. Σε αντίθεση, από τις 08:30 μέχρι τις 12:20, οι τιμές της $T_{mb,35}$ και $T_{mb,ANAΦ}$ ήταν οι υψηλότερες και σχεδόν ίσες. Μετά τις 12:20 οι τιμές της $T_{mb,35}$ αυξήθηκαν σε σχέση με εκείνες της $T_{mb,ANAΦ}$ με διαφορά που άγγιξε μέχρι και τους 5.6°C. Οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές του ΦΒ ANAΦ με τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 σημειώθηκαν στις 09:40 και ανήλθαν στους 7.4°C και 7.5°C αντίστοιχα.

Το διάγραμμα 5.45 περιλαμβάνει τα πειραματικά δεδομένα ηλεκτρικής ισχύος. Το ΦΒ ΥΑΦ 35 παρήγαγε τη λιγότερη ενέργεια και η διαφορά της ημερήσια παραγόμενης ενέργειας του, σε σχέση με το ΦΒ ΥΑΦ 27, το οποίο παρουσίασε τη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, υπολογίστηκε στις 2.35Wh (Πίνακας 5.12). Επιπλέον, τα ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 31 εμφάνισαν κατά μέσο όρο μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής ισχύος, με τις μέσες τιμές της διαφοράς ισχύος του ΦΒ ANAΦ σε σχέση με τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27, να ισούταν με 0.11W και 0.16W αντίστοιχα.

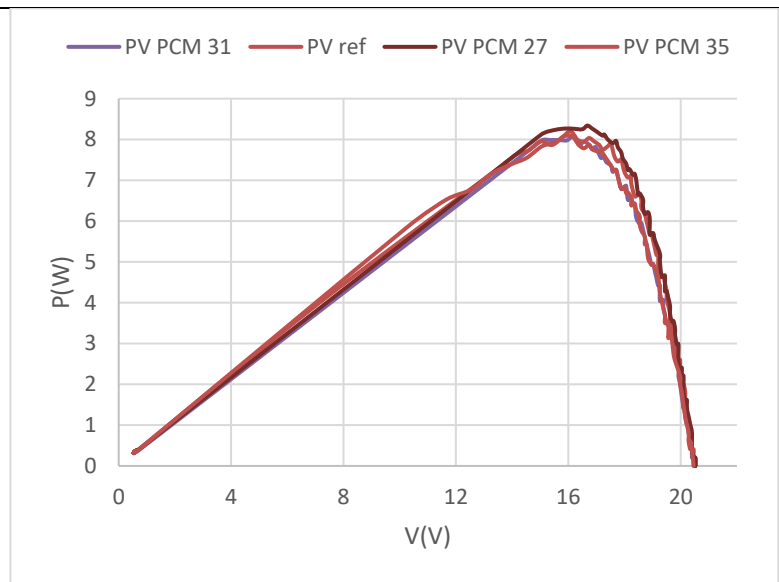
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ANAΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	39.5	42.3	39.1	44.3
Απόδοση	%	11.51	11.27	11.58	11.06
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.56	0.55	0.56	0.54
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	66.88	65.92	67.34	64.99

Πίνακας 5.12 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

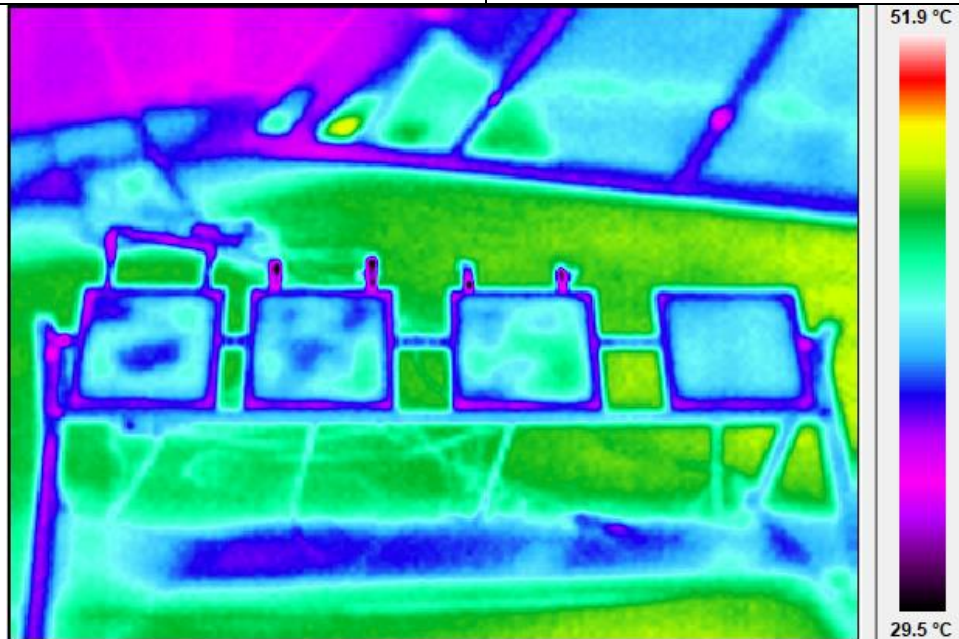
Τα διαγράμματα 5.46 και 5.47, καθώς και η εικόνα 5.5 περιλαμβάνουν δεδομένα της ενεργειακής και θερμικής κατάστασης των ΦΒ τη χρονική στιγμή 16:30, κατά την οποία η τιμή της G_t ισούνταν με 695W/m². Βέλτιστη απόδοση εμφάνιζε το ΦΒ ΥΑΦ 27 με ισχύ 8.34W και έπειτα, το ΦΒ ΥΑΦ 35, 8.24W. Τη δεδομένη χρονική στιγμή η θερμοκρασία του ΦΒ ΥΑΦ 35 είναι μεγαλύτερη και αυτό φανερώθηκε και από τη τιμή της $T_{mb,35}$ και από τη θερμοκάμερα. Αναμενόμενο ήταν το συγκεκριμένο ΦΒ να παράγει και τη χαμηλότερη ενέργεια, όμως, εκείνο παρήγαγε το δεύτερο μεγαλύτερο ποσό ενέργειας. Τέλος, το ΦΒ ΥΑΦ 27 είχε την υψηλότερη απόδοση και τη μικρότερη θερμοκρασία, όπως ήταν πιο λογικό.



Διάγραμμα 5.46 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 16:30, 695W/m²



Διάγραμμα 5.47 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 16:30, 695W/m²

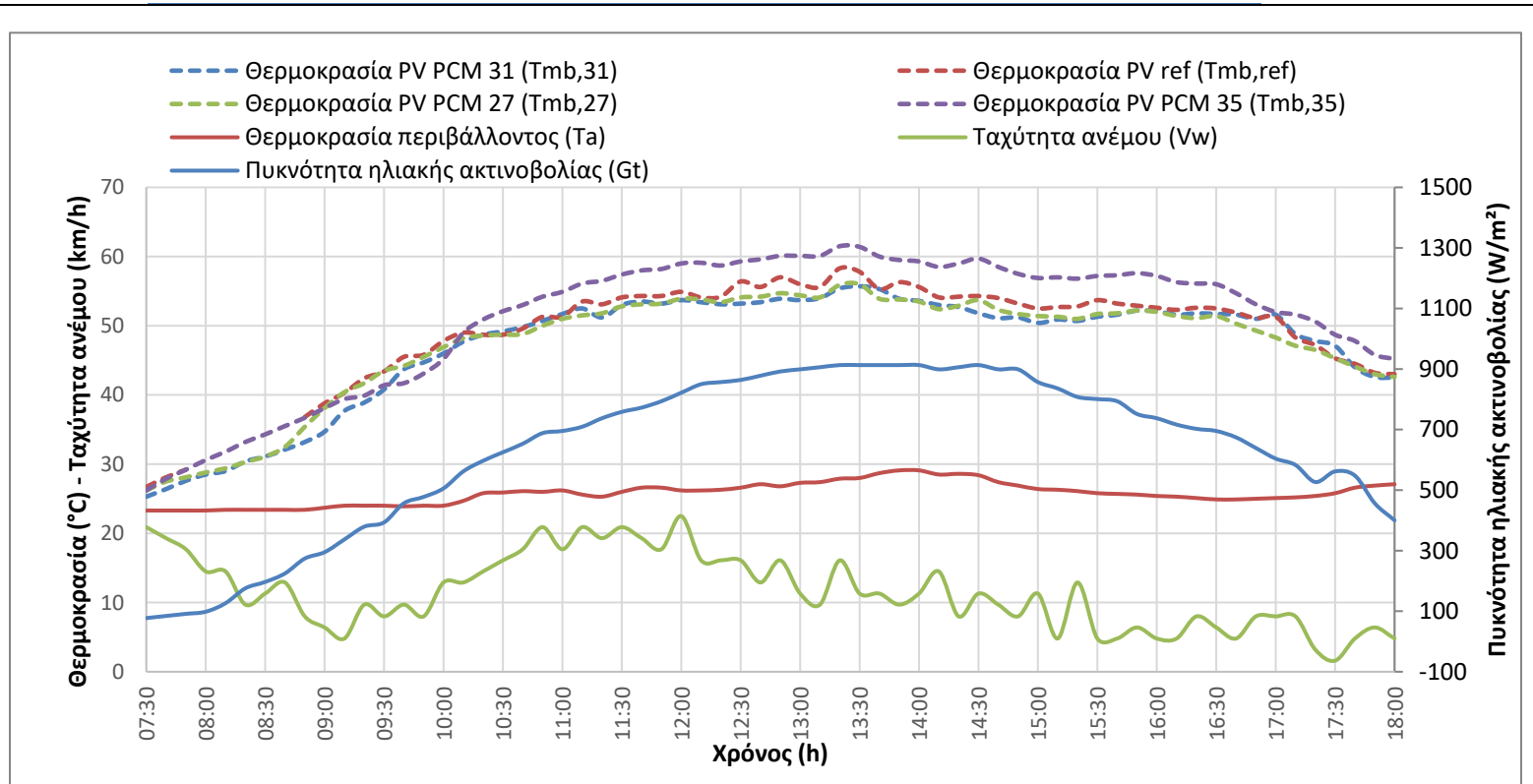


Εικόνα 5.5 Εικόνα από θερμικάμερα, 16:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 27 – ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ)

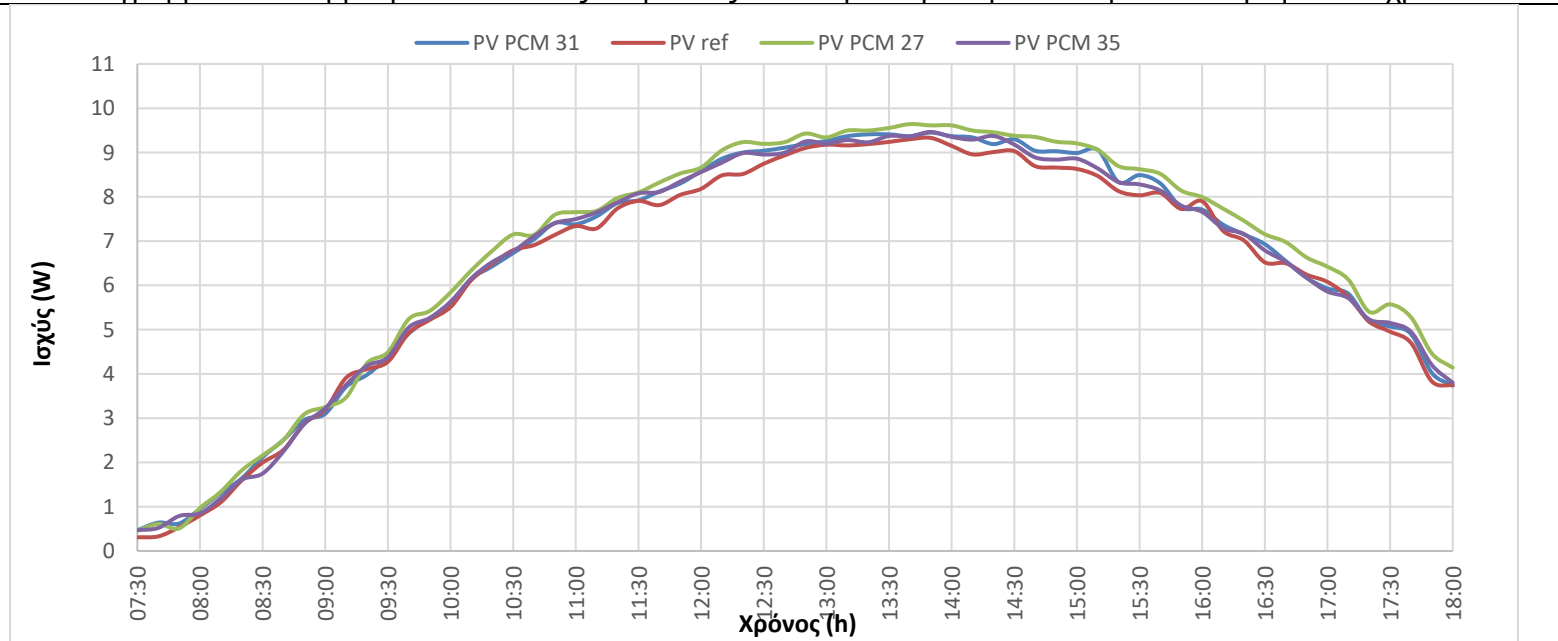
5.2.5 Ιούνιος 2019

18.06.2019

Χρονική διάρκεια: 07:30 – 18:00 – Ηλιοφάνεια με σχεδόν μέτριο άνεμο



Διάγραμμα 5.48 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.49 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

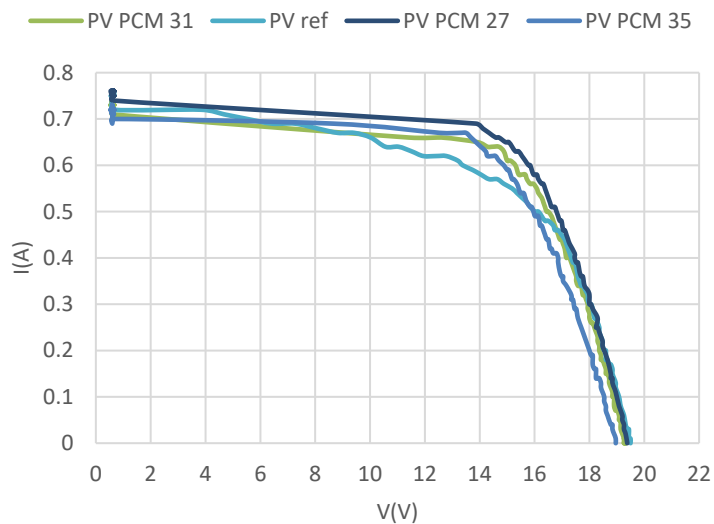
Στο διάγραμμα 5.48 απεικονίζονται οι τιμές T_{mb} και τα μετεωρολογικά στοιχεία G_t , V_w και T_a . Η μέση τιμή της V_w και της T_a ήταν 25.7°C και 11.5km/h αντίστοιχα. Το εύρος τιμών T_{mb} κυμάνθηκε μεταξύ 25.3°C - 55.7°C , 26.7°C - 58.3°C , 26.2°C - 56.0°C και 26.2°C - 61.5°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΥΑΦ 35 αντίστοιχα και το εύρος της T_a και V_w μεταξύ 23.3°C - 29.1°C και 1.6km/h - 22.5km/h αντίστοιχα. Οι τιμές των $T_{mb,31}$, $T_{mb,ΑΝΑΦ}$ και $T_{mb,27}$ ήταν παρόμοιες, ενώ εκείνες της $T_{mb,35}$ αρκετά μεγαλύτερες καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Δυστυχώς, κατά το χρονικό διάστημα 08:00-08:40 δεν καταγράφηκαν δεδομένα για τη $T_{mb,ΑΝΑΦ}$, εξαιτίας προβλήματος του αισθητήρα του ΦΒ ΑΝΑΦ.

Από το διάγραμμα 5.49 έγινε αντιληπτό πως τις πρώτες χρονικές στιγμές δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ισχύος μεταξύ των τεσσάρων ΦΒ. Από τις 10:30 και έπειτα, διακρίθηκαν διαφοροποιήσεις στην ενεργειακή τους κατάσταση. Το ΦΒ ΑΝΑΦ εμφάνισε αρκετά μειωμένες τιμές ισχύος μέχρι και τις 15:30, παράγοντας τη λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα άλλα τρία ΦΒ. Αντίθετα, το ΦΒ ΥΑΦ 27 απέδιδε βέλτιστα μέχρι και την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας. Γενικά, η μέση και η μέγιστη τιμή της διαφοράς ισχύος του σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ ανήλθε στα 0.35W και 0.72W αντίστοιχα. Βέβαια, ενώ οι διαφορές αυτές ήταν αξιοσημείωτες, δεν παρατηρήθηκε και αντίστοιχη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο αυτών ΦΒ, που να δικαιολογούσε την αυξημένη απόδοση του ΦΒ ΥΑΦ 27. Η βελτιωμένη ενεργειακή παραγωγή του ΦΒ ΥΑΦ 27 επιβεβαιώνεται και από το πίνακα 5.13, καθώς η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια του υπολογίστηκε κατά 3.59Wh μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του ΦΒ ΑΝΑΦ (αύξηση περίπου κατά 5%).

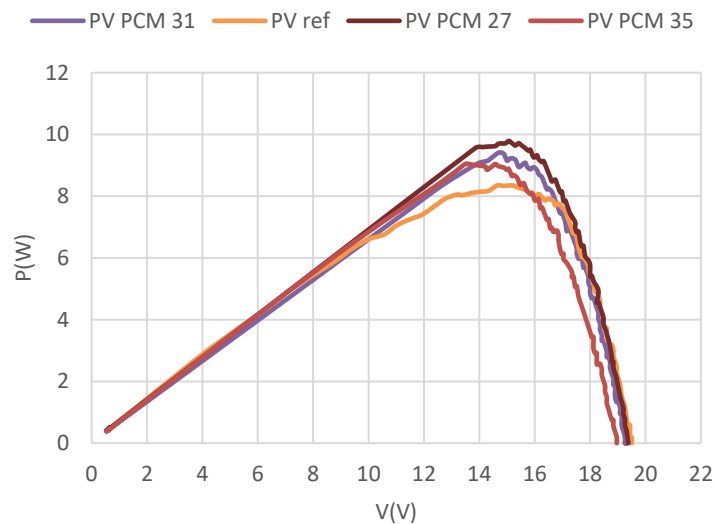
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	47.1	49.9	47.3	51.0
Απόδοση	%	9.82	9.50	10.13	9.76
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.47	0.46	0.49	0.47
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	69.62	68.02	71.79	69.37

Πίνακας 5.13 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

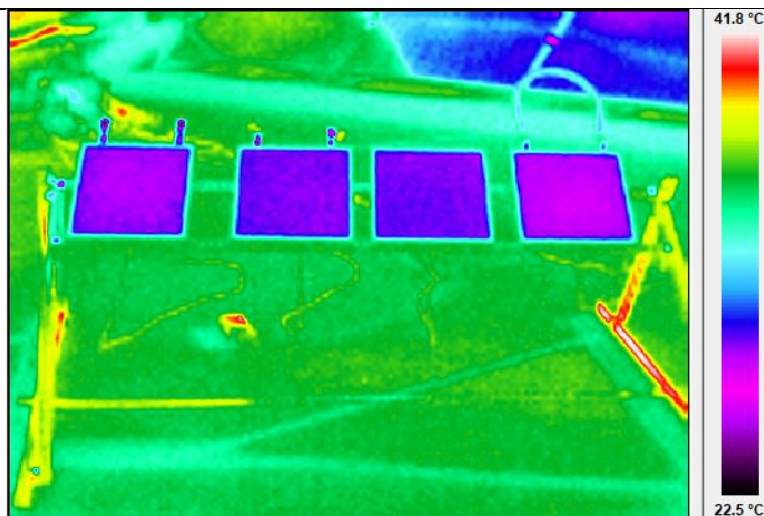
Στην εικόνα 5.6 όπως και στο διάγραμμα 5.48 παρατηρήθηκε πως στις 08:30 τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 είχαν τις μικρότερες θερμοκρασίες, εξαιτίας της τήξης των ΥΑΦ, καθώς η θερμοκρασία κάθε ΦΒ ήταν μέσα στο θερμοκρασιακό εύρος τήξης του αντίστοιχου ΥΑΦ που είχε ενσωματωθεί. Αντίθετα, στις 10:30 από την εικόνα 5.7, διαπιστώθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη χαμηλότερη θερμοκρασία.



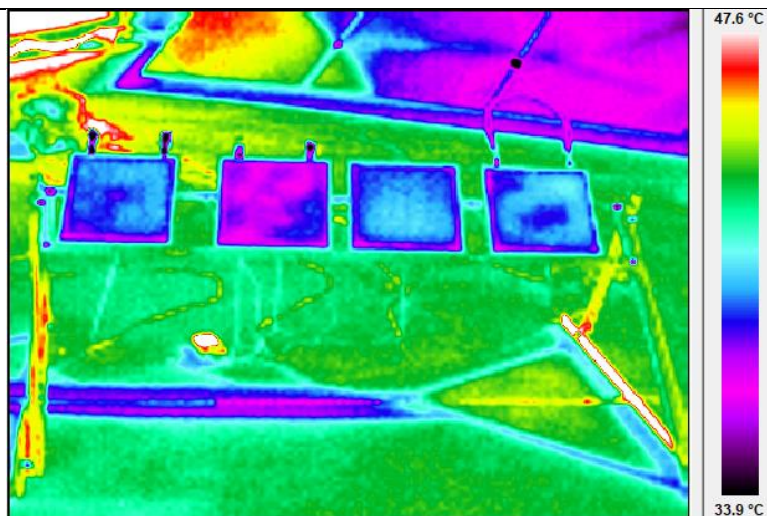
Διάγραμμα 5.50 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 13:20, 913W/m^2



Διάγραμμα 5.51 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 13:20, 913W/m^2



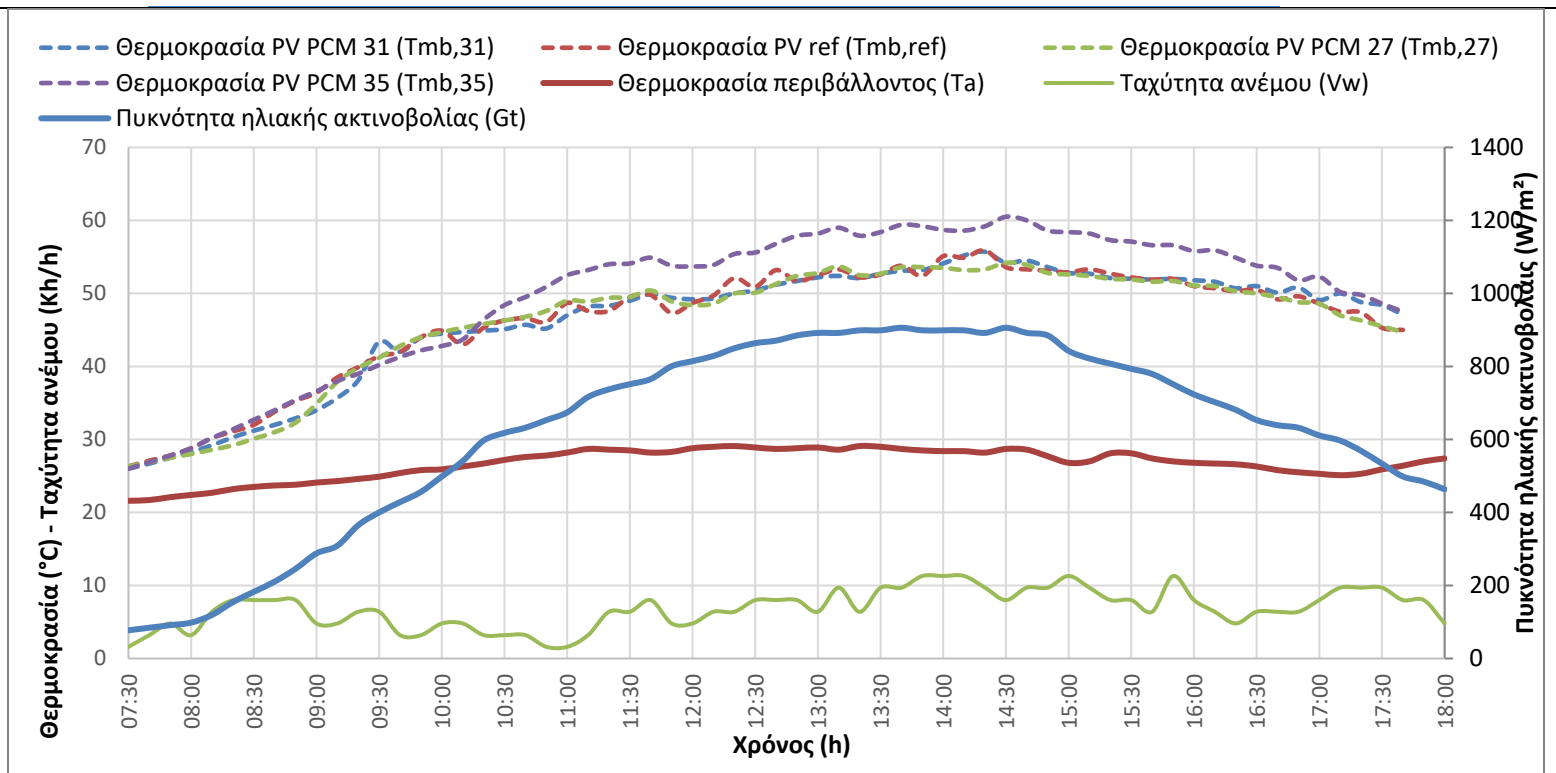
Εικόνα 5.6 Εικόνα από θερμοκάμερα, 08:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27)



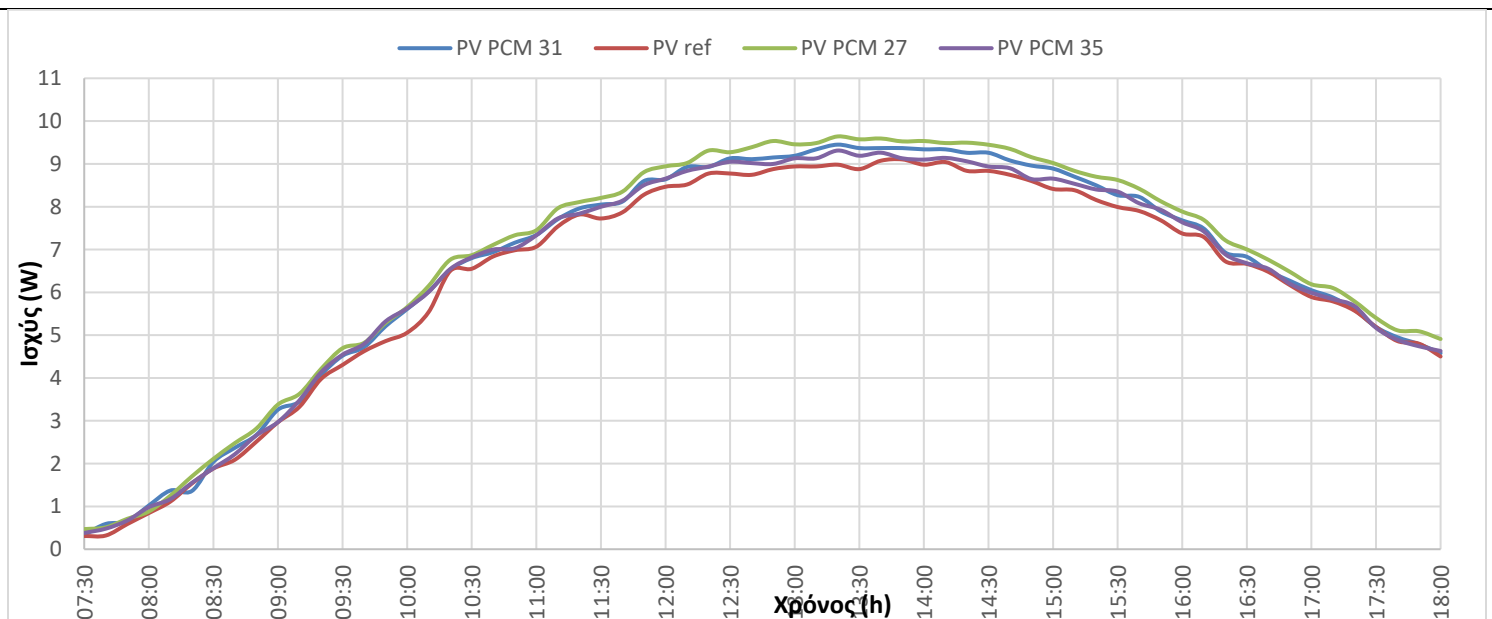
Εικόνα 5.7 Εικόνα από θερμοκάμερα, 10:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27)

20.06.2019

Χρονική διάρκεια: 07:30 – 18:00 – Ηλιοφάνεια με πολύ ασθενή άνεμο



Διάγραμμα 5.52 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.53 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

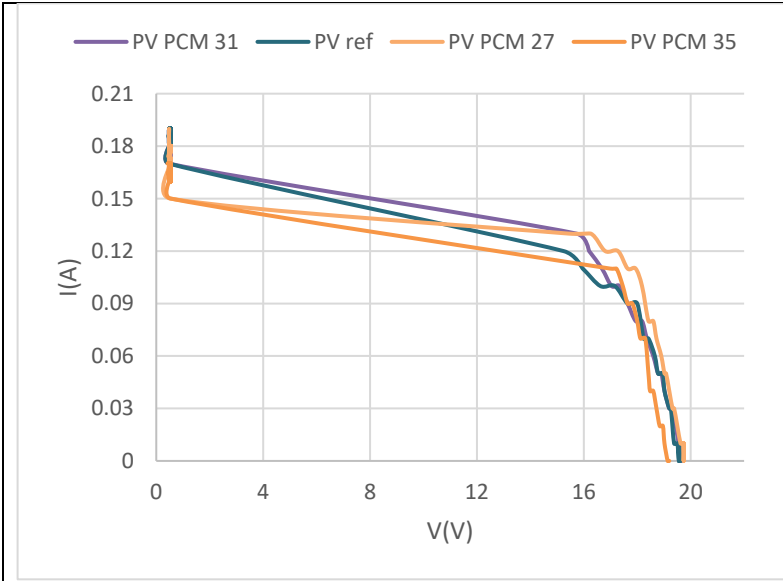
Το διάγραμμα 5.52 παρουσιάζει τα μετεωρολογικά δεδομένα T_a , V_w και G_t , καθώς και τις τιμές T_{mb} των τεσσάρων πλαισίων. Πρόκειται για μία ηλιόλουστη ημέρα με εύρος τιμών διακύμανσης T_a και V_w , 26.7°C - 29.1°C και 6.8km/h - 11.3km/h αντίστοιχα. Οι τιμές T_{mb} των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΑΝΑΦ ήταν παρόμοιες κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας, ενώ εκείνες της $T_{mb,35}$ ειδικά μετά τις 10:00 αρκετά μεγαλύτερες. Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 35 και ΦΒ ΑΝΑΦ, 6.9°C σημειώθηκε στις 14:30, χρονική στιγμή που καταγράφηκε η μέγιστη τιμή G_t , 906W/m².

Από το διάγραμμα 5.53 γίνεται αντιληπτό πως στο μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας το ΦΒ ΑΝΑΦ είχε τη μικρότερη ηλεκτρική ισχύ και το ΦΒ ΥΑΦ 31 τη μέγιστη. Ο μέσος όρος της διαφοράς ισχύος του ΦΒ ΑΝΑΦ με τα ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27, ΦΒ ΥΑΦ 35 ήταν 0.23W, 0.41W και 0.16W αντίστοιχα. Οι μέγιστες διαφορές καταγράφηκαν στις 10:00 για το ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 35, ίσες με 0.55W και 0.57W αντίστοιχα και στις 13:30 για το ΦΒ ΥΑΦ 27, 0.70W.

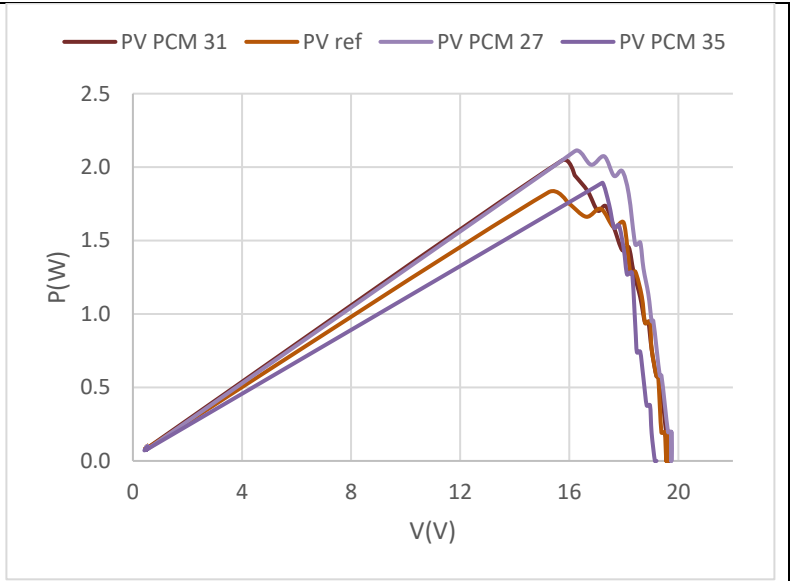
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	°C	46.3	46.4	46.1	49.6
Απόδοση	%	10.08	9.35	10.62	9.89
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.47	0.44	0.50	0.46
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	69.82	67.33	71.72	69.09

Πίνακας 5.14 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

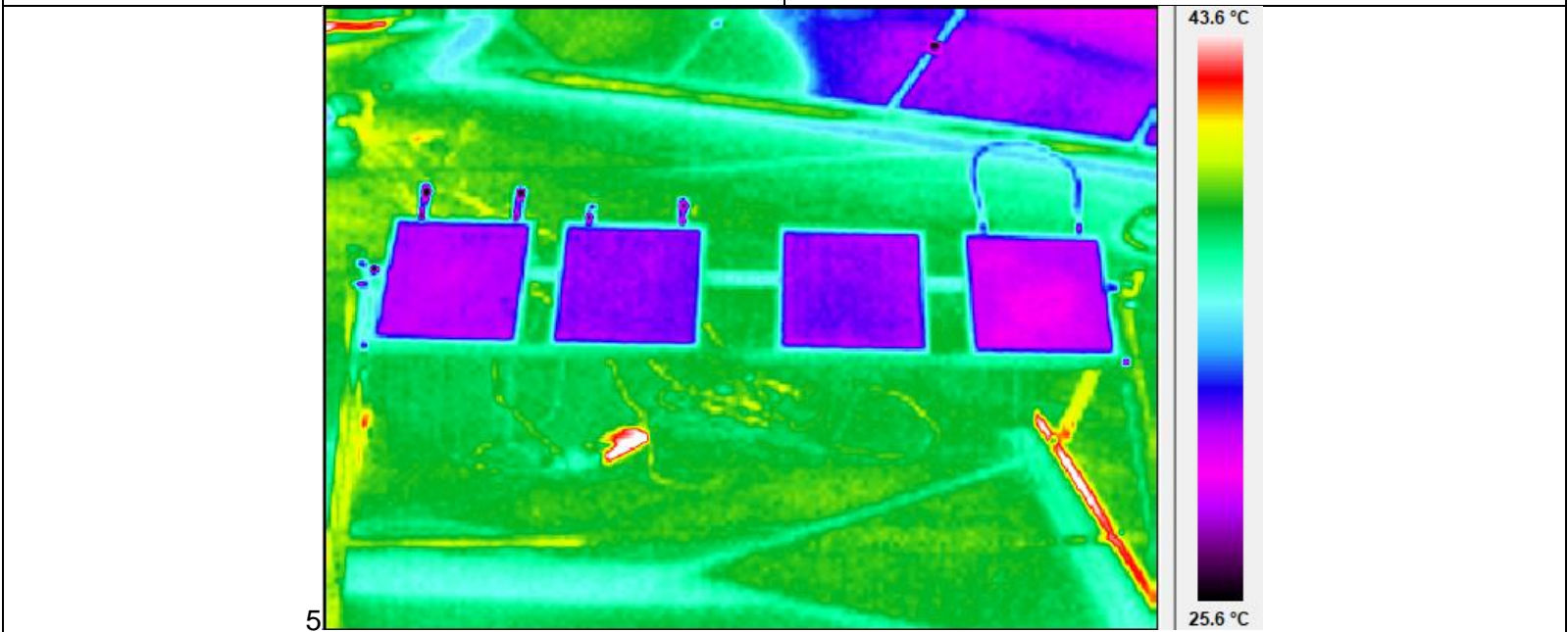
Στα διαγράμματα 5.54 και 5.55 απεικονίζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά I , V και P , στις 08:30. Τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισαν τη μέγιστη ισχύ, διότι τη δεδομένη χρονική περίοδο η θερμοκρασία τους ήταν τέτοια, που προκάλεσε την τήξη των ΥΑΦ και επομένως, την απορρόφηση μέρους της θερμότητας των ΦΒ από τα ΥΑΦ. Η μειωμένη θερμοκρασία των ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 φανερώθηκε και από την εικόνα 5.8.



Διάγραμμα 5.54 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 08:30, 183W/m²



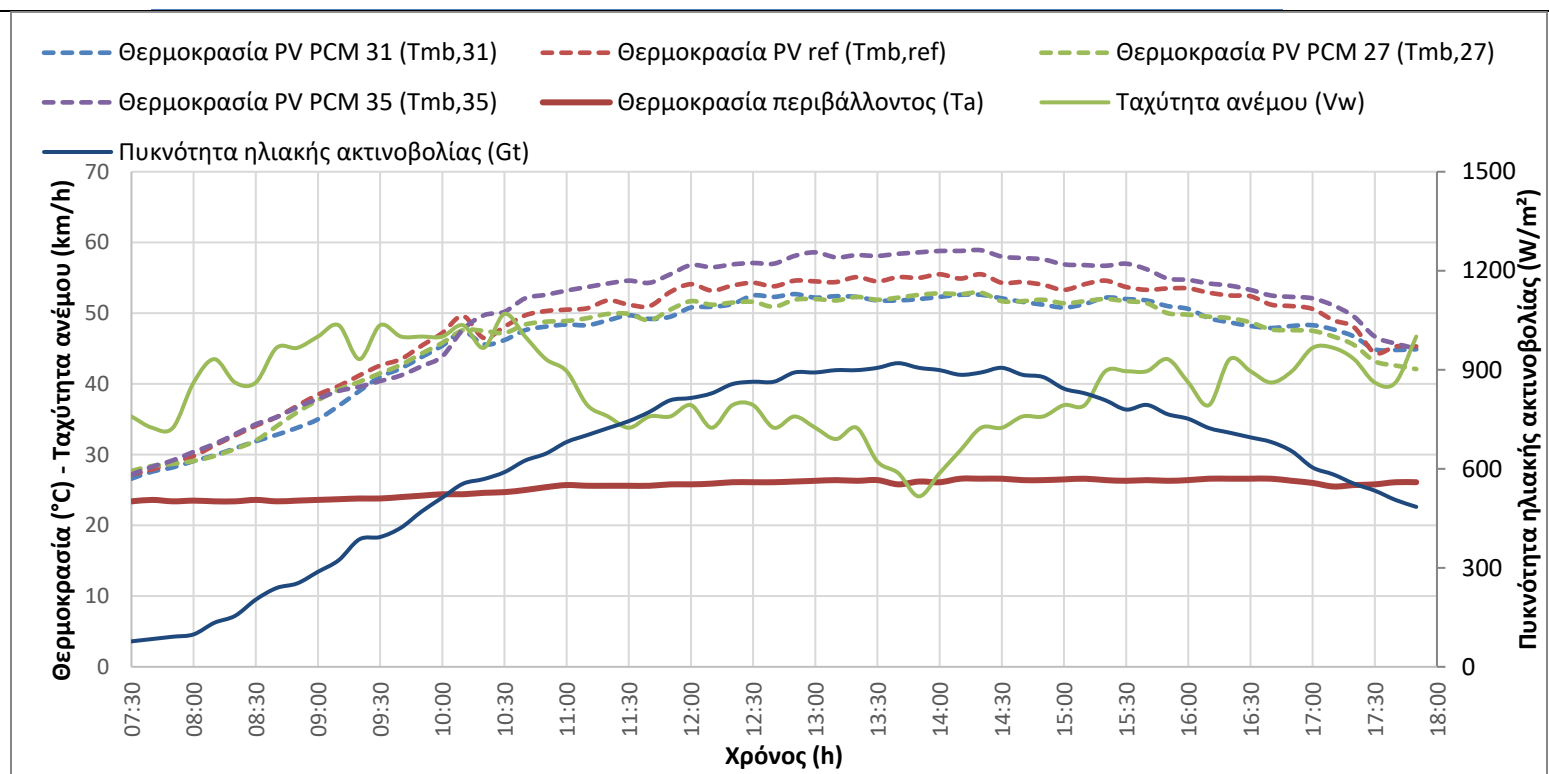
Διάγραμμα 5.55 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 08:30, 183W/m²



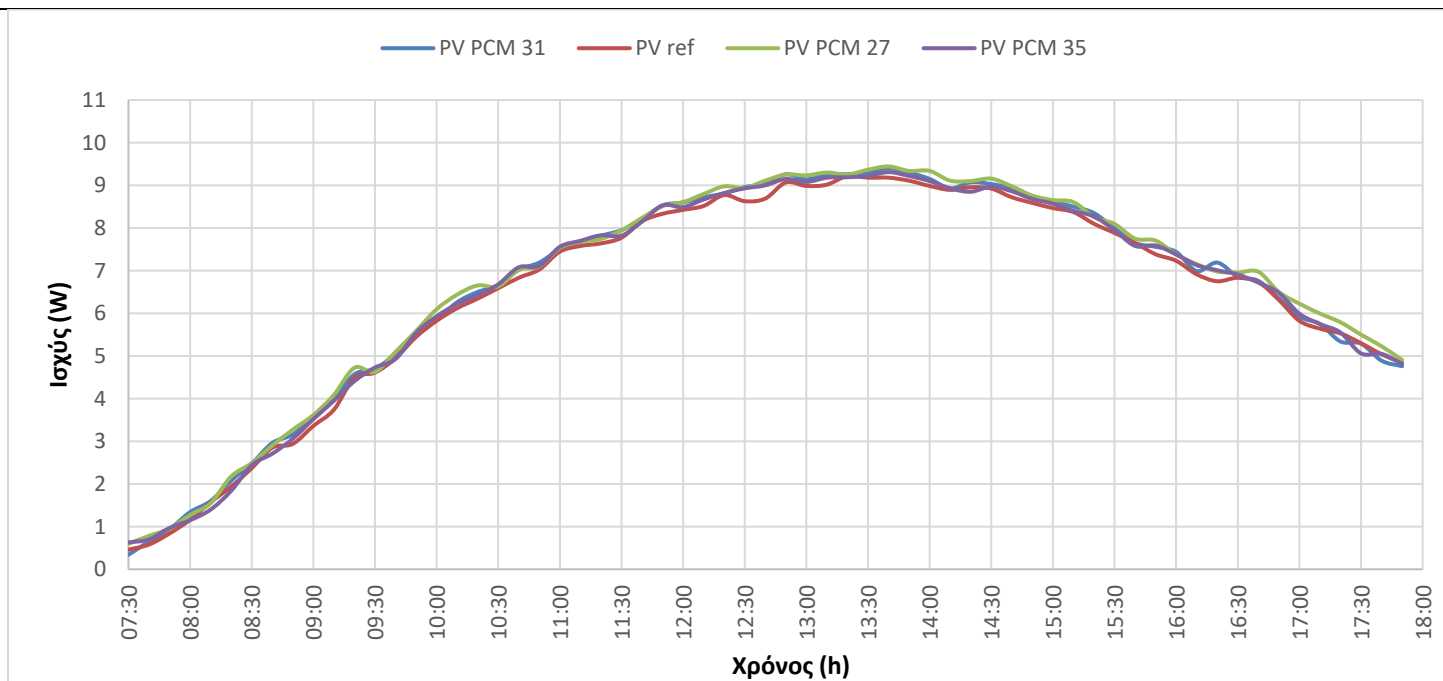
Εικόνα 5.8 Εικόνα από θερμικάμερα, 08:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 - ΦΒ ΥΑΦ 35 - ΦΒ ΑΝΑΦ - ΦΒ ΥΑΦ 27)

25.06.2019

Χρονική διάρκεια: 07:30 – 17:50 – Ηλιοφάνεια με ισχυρούς ανέμους



Διάγραμμα 5.56 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.57 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

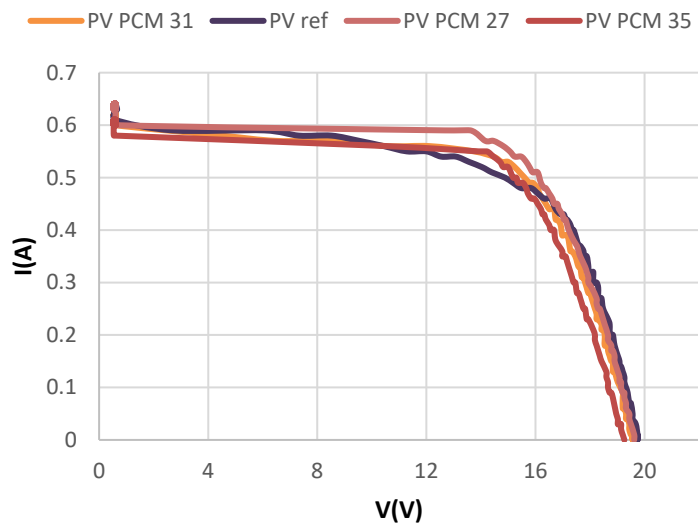
Η γραφική απεικόνιση των μεγεθών T_{mb} , V_w , T_a και G_t πραγματοποιείται στο διάγραμμα 5.56. Πρόκειται για μία ηλιόλουστη καλοκαιρινή ημέρα που έπνεαν ισχυροί άνεμοι. Η μέση τιμή της T_a ήταν ίση με 25.4°C , η μέση τιμή της V_w 39.3km/h και η μέγιστη τιμή της G_t 920W/m^2 , στις 13:40. Μελετώντας τις τιμές T_{mb} συμπεράστηκε ότι μέχρι και τις 10:30 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ΦΒ. Από τις 10:40 και καθ' όλη τη διάρκεια της υπόλοιπης διαδικασίας, το ΦΒ ΥΑΦ 35 εμφάνισε τις μεγαλύτερες τιμές T_{mb} και το ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 τις χαμηλότερες τιμές, με εκείνες των δύο τελευταίων ΦΒ να είναι παρόμοιες. Οι τιμές T_{mb} διακυμάνθηκαν μεταξύ 26.6°C - 52.7°C , 27.2°C - 55.5°C , 27.7°C - 52.9°C και 27.2°C - 58.9°C για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ΦΒ ΑΝΑΦ και ΦΒ ΥΑΦ 31 καταγράφηκε στις 16:30, ίση με 4.2°C και την ίδια χρονική στιγμή σημειώθηκε και η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ΦΒ ΑΝΑΦ και ΦΒ ΥΑΦ 27, ίση με 3.7°C .

Το διάγραμμα 5.57 εμπεριέχει τα σημεία μέγιστης ισχύος κάθε χρονικής στιγμής. Στις 13:40, χρονική στιγμή μέγιστης G_t , τα ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 παρουσίασαν τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ, ίση με 9.40W , 9.44W και 9.31W αντίστοιχα. Το ΦΒ ΑΝΑΦ είχε μέγιστη ισχύ, 9.22W , στις 13:20. Στο μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας το ΦΒ ΑΝΑΦ παρήγαγε τη λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια. Η μέση τιμή της διαφοράς ισχύος του ΦΒ ΑΝΑΦ σε σχέση με τα ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 υπολογίστηκε στα 0.12W , 0.20W και 0.08W αντίστοιχα.

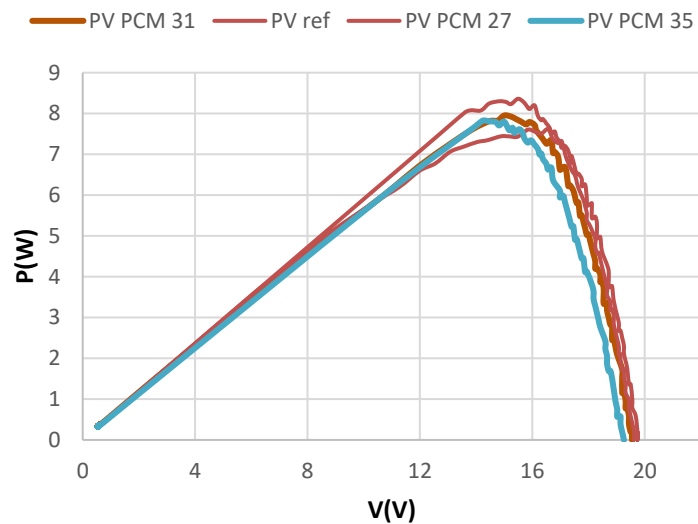
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	46.0	48.2	46.2	49.8
Απόδοση	%	10.23	10.00	10.41	10.16
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.48	0.47	0.48	0.47
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	69.20	67.94	70.01	68.81

Πίνακας 5.15 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

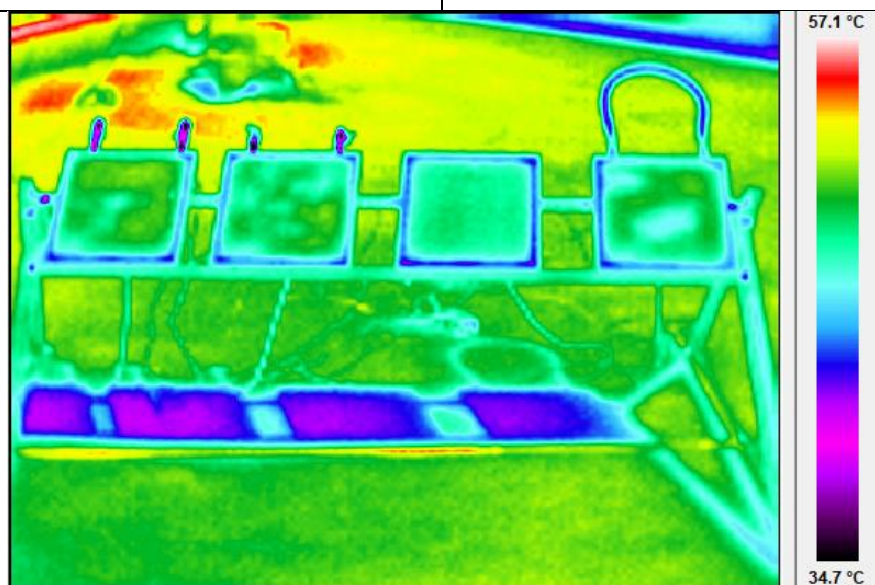
Στα διαγράμματα 5.58 και 5.59 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V στις 11:30, χρονική στιγμή κατά την οποία η τιμή της G_t ήταν ίση με 744W/m^2 . Το ΦΒ ΑΝΑΦ είχε τη χειρότερη ενεργειακή συμπεριφορά με τη διαφορά ισχύος μεταξύ του ΦΒ ΑΝΑΦ και των ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27, ΦΒ ΥΑΦ 35 να προσδιορίστηκε στα 0.18W , 0.17W και 0.05W αντίστοιχα. Επίσης, στην εικόνα 5.9 απεικονίζεται η θερμική κατάσταση των ΦΒ τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



Διάγραμμα 5.58 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:30, 744W/m²



Διάγραμμα 5.59 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:30, 744W/m²

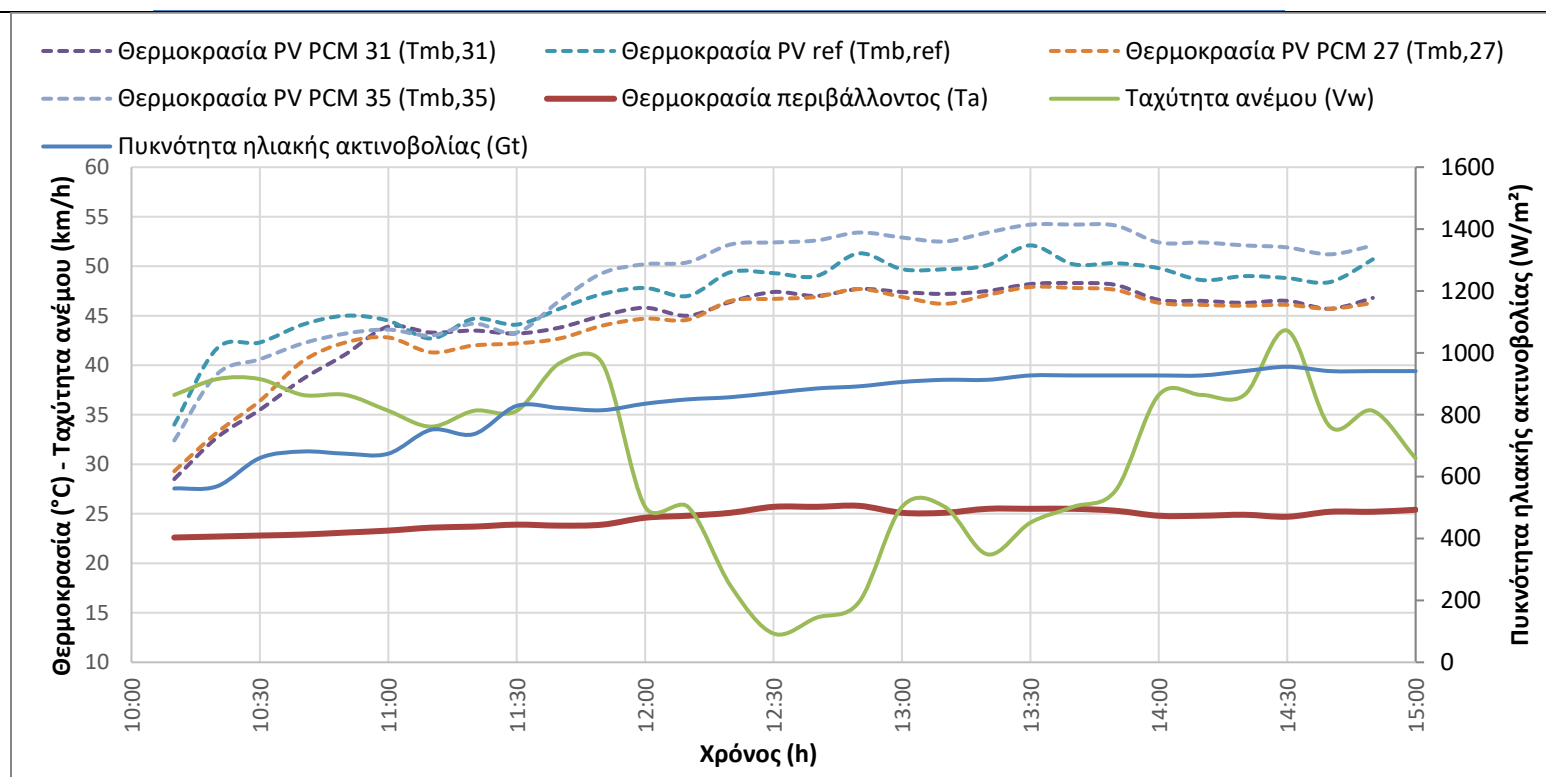


Εικόνα 5.9 Εικόνα από θερμοκάμερα, 11:30
(Από αριστερά ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 35)

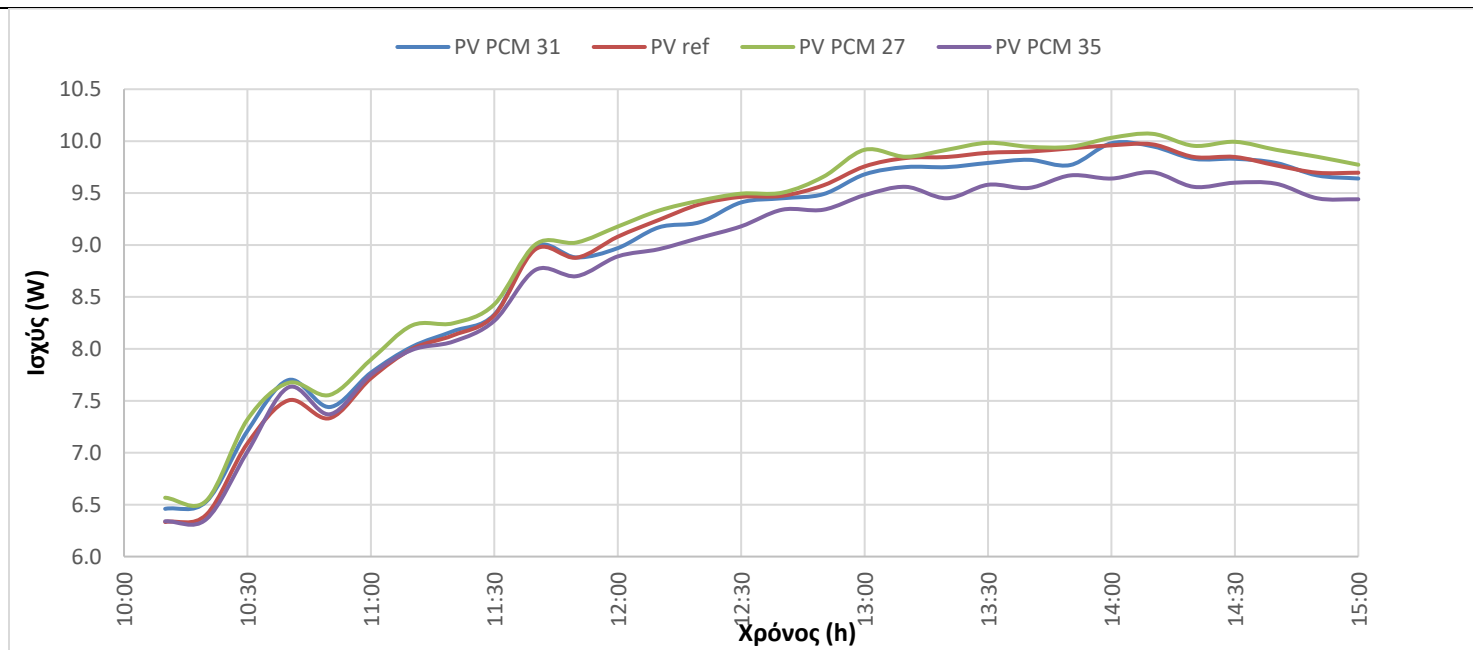
5.2.6 Ιούλιος 2019

01.07.2019

Χρονική διάρκεια: 10:10-15:00 – Ηλιοφάνεια με ισχυρούς ανέμους



Διάγραμμα 5.60 Θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ και μετεωρολογικά δεδομένα συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 5.61 Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει του χρόνου

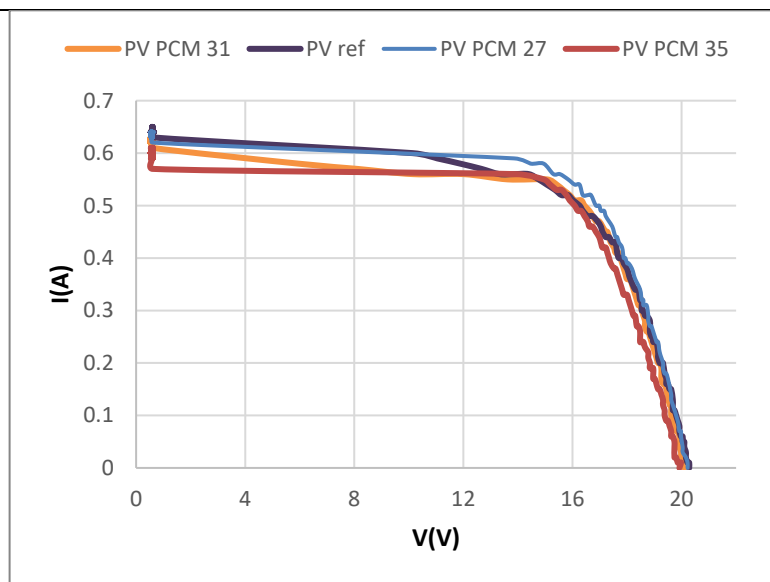
Στο διάγραμμα 5.60 απεικονίζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα T_a , V_w και G_t , καθώς και οι τιμές T_{mb} των ΦΒ. Το εύρος τιμών της T_a και της V_w ήταν 22.6°C - 25.8°C και 12.9km/h - 43.5km/h αντίστοιχα. Στο μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας (από τις 11:00 και έπειτα) η $T_{mb,27}$ παρουσίασε τις μικρότερες τιμές, η $T_{mb,31}$ τις αμέσως μικρότερες και η $T_{mb,35}$ τις μεγαλύτερες. Οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές του ΦΒ ΑΝΑΦ σε σχέση με τα ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 31 σημειώθηκαν στις 10:20 και υπολογίστηκαν ίσες με 9.0°C , 8.5°C και 2.6°C αντίστοιχα. Γενικά, οι τιμές των $T_{mb,31}$, $T_{mb,ΑΝΑΦ}$, $T_{mb,27}$ και $T_{mb,35}$ κυμάνθηκαν μεταξύ 28.5°C - 48.3°C , 34.0°C - 52.1°C , 29.3°C - 47.9°C και 32.4°C - 54.2°C .

Μελετώντας το διάγραμμα 5.61 εξακριβώθηκε πως το ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισε τη βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά, καθώς σχεδόν όλες τις εξεταζόμενες χρονικές στιγμές κατέλαβε τις μέγιστες τιμές ηλεκτρικής ισχύος. Αντίθετα, το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη χειρότερη συμπεριφορά, κατάσταση αναμενόμενη εξαιτίας των υψηλών $T_{mb,35}$ που καταγράφηκαν. Πιο συγκεκριμένα, από το διάγραμμα 5.60 έγινε κατανοητό ότι από τις 11:00 και μετά, οι τιμές της $T_{mb,35}$ ήταν αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές T_{mb} , γεγονός που αιτιολογεί και την χαμηλή ηλεκτρική ισχύ του ΦΒ ΥΑΦ 35, την οποία απεικονίζει το διάγραμμα 5.61. Η μέση και η μέγιστη διαφορά ισχύος μεταξύ ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΑΝΑΦ ήταν ίση με 0.11W και 0.23W αντίστοιχα.

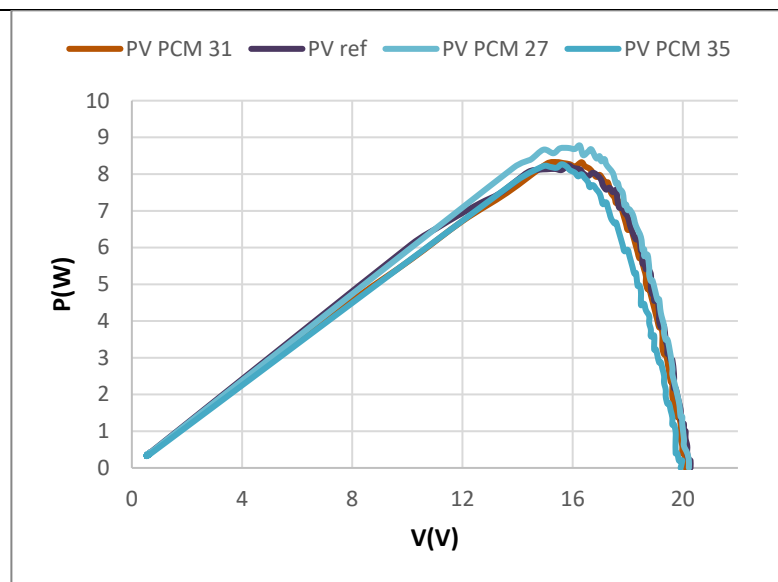
		ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Μέση θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	44.3	47.1	43.9	48.7
Απόδοση	%	10.40	10.40	10.54	10.21
Συντελεστής πλήρωσης	%	0.65	0.65	0.66	0.63
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	Wh	42.60	42.70	43.21	41.79

Πίνακας 5.16 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ημέρας

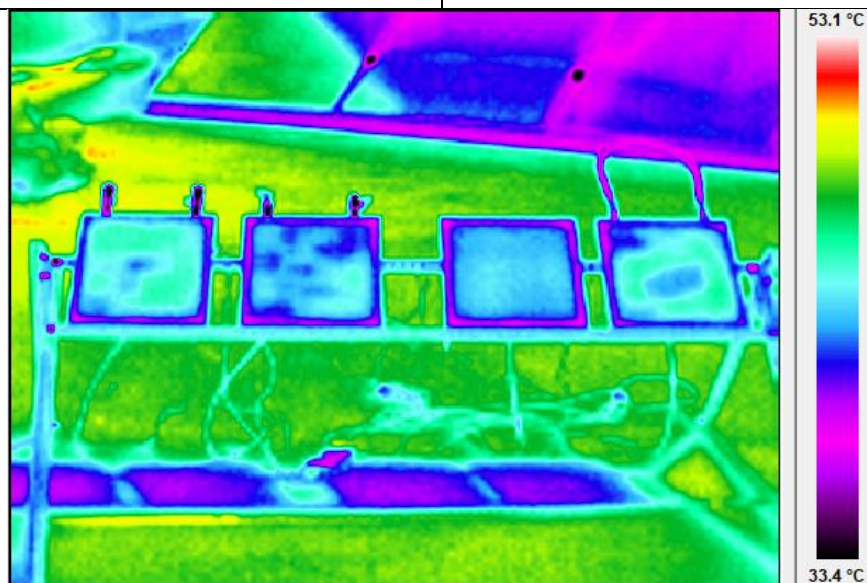
Στα διαγράμματα 5.62 και 5.63 απεικονίζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά I , V και P , στις 11:30. Τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισαν τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ, χωρίς να παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες διαφορές ισχύος σε σχέση με τα ΦΒ ΥΑΦ 35 και ΦΒ ΑΝΑΦ και ταυτόχρονα, οι τιμές T_{mb} και των τεσσάρων ΦΒ ήταν παρόμοιες. Η παρόμοια θερμική κατάσταση τους επιβεβαιώθηκε και μέσω της εικόνας 5.10.



Διάγραμμα 5.62 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, 11:30, 829W/m²



Διάγραμμα 5.63 Χαρακτηριστική καμπύλη P-V, 11:30, 829W/m²



Εικόνα 5.10 Εικόνα από θερμικάμερα, 11:30
(Από αριστερά: ΦΒ ΥΑΦ 31 – ΦΒ ΥΑΦ 35 – ΦΒ ΑΝΑΦ – ΦΒ ΥΑΦ 27)

5.3 Ενεργειακή συμπεριφορά

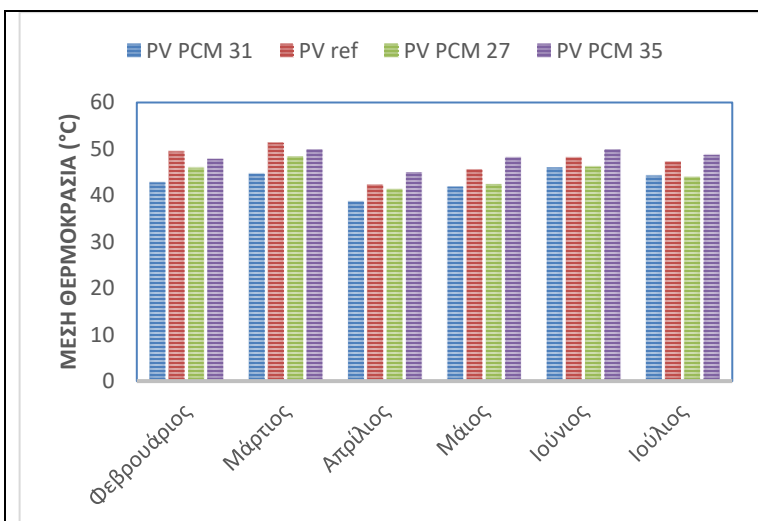
Στον πίνακα 5.1 και στο διάγραμμα 5.1 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ενεργειακής απόδοσης για τις τυπικές ημέρες σε επίπεδο μήνα, οι οποίες κυμάνθηκαν από 9.36% - 12.04%, 9.35% - 11.74%, 9.53% - 12.08% και 9.28% - 11.52% για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα. Μέγιστη απόδοση εμφάνισαν το μήνα Μάιο, με τιμές οι οποίες ανήλθαν στο 11.40%, 11.25%, 11.61% και 10.96% για το ΦΒ ΥΑΦ 31, ΦΒ ΑΝΑΦ, ΦΒ ΥΑΦ 27 και ΦΒ ΥΑΦ 35 αντίστοιχα. Απαραίτητο κρίνεται να τονιστεί, πως η πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε ημέρες με ηλιοφάνεια ή ηλιοφάνεια με λίγες νεφώσεις. Ιδιαίτερα το Φεβρουάριο και το Μάρτιο, υπήρξαν αρκετές ημερομηνίες, που σημειώθηκαν έντονες βροχοπτώσεις και ακραία καιρικά φαινόμενα και οι οποίες δεν μελετήθηκαν.

	Μέση ενεργειακή απόδοση (%)			
	ΦΒ ΥΑΦ 31	ΦΒ ΑΝΑΦ	ΦΒ ΥΑΦ 27	ΦΒ ΥΑΦ 35
Φεβρουάριος	10.30	10.19	10.37	10.21
Μάρτιος	10.06	10.09	10.29	9.97
Απρίλιος	10.94	10.76	11.06	10.43
Μάιος	11.40	11.25	11.61	10.96
Ιούνιος	10.29	9.96	10.67	10.15
Ιούλιος	10.39	10.38	10.48	10.42
Σύνολο μετρήσεων	10.61	10.48	10.80	10.34

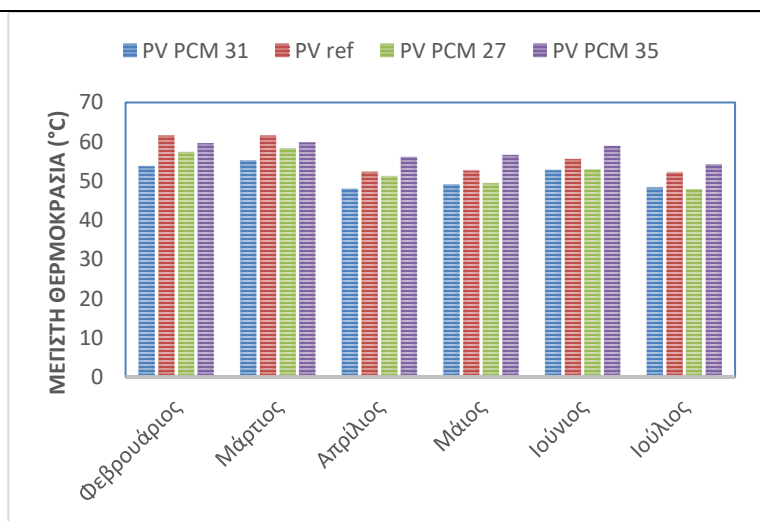
Πίνακας 5.17 Μέσες τιμές ενεργειακής απόδοσης

5.4 Θερμική συμπεριφορά

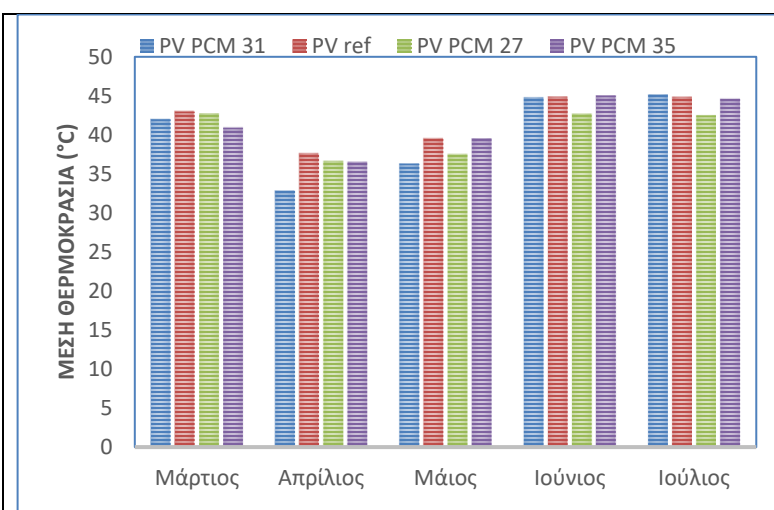
Τα διαγράμματα 5.64 έως 5.67 εμπεριέχουν τις μέσες και μέγιστες τιμές θερμοκρασίες της οπίσθιας και εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ, χαρακτηριστικών ημερών κάθε μήνα. Η απουσία θερμοκρασιακών δεδομένων της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ το Φεβρουάριο οφείλεται στο γεγονός ότι το μήνα εκείνο δεν καταγράφηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας της εμπρόσθιας επιφάνειας. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι τα ΦΒ ΥΑΦ 35 και ΦΒ ΑΝΑΦ είχαν τις μέγιστες τιμές οπίσθιας θερμοκρασίας, ενώ στο μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων το ΦΒ ΥΑΦ 31 τις μικρότερες. Αντίστοιχα, ίσχυε και για τις τιμές της θερμοκρασίας της εμπρόσθιας επιφάνειας.



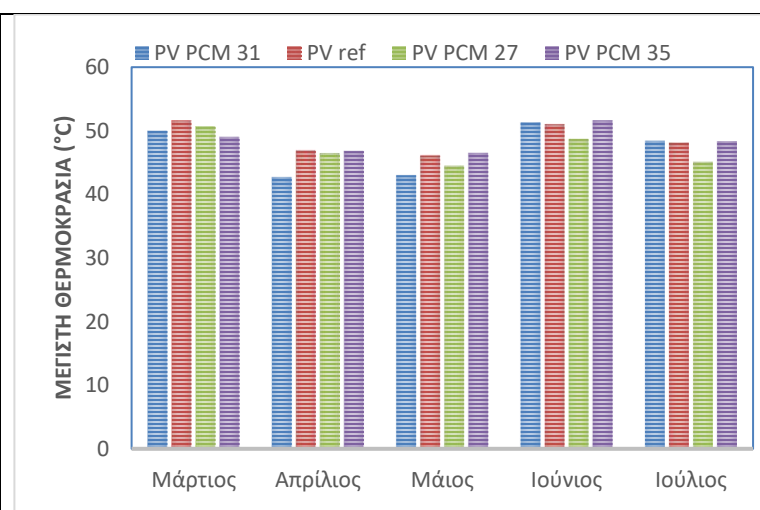
Διάγραμμα 5.64 Μέση θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα



Διάγραμμα 5.65 Μέγιστη θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα

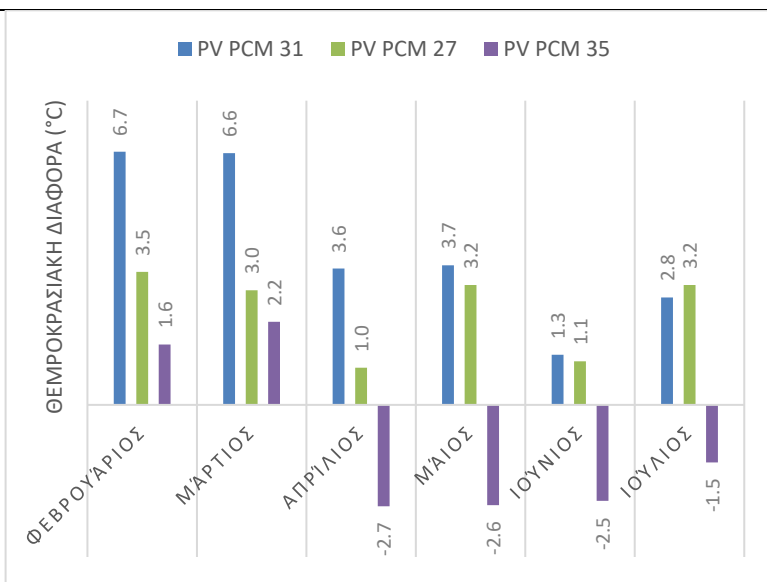


Διάγραμμα 5.66 Μέση θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα

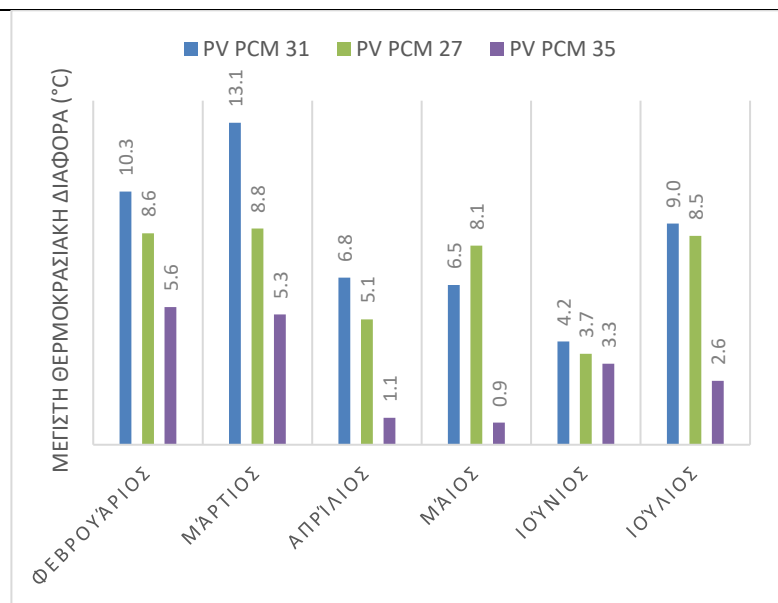


Διάγραμμα 5.67 Μέγιστη θερμοκρασία εμπρόσθιας επιφάνειας ΦΒ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα

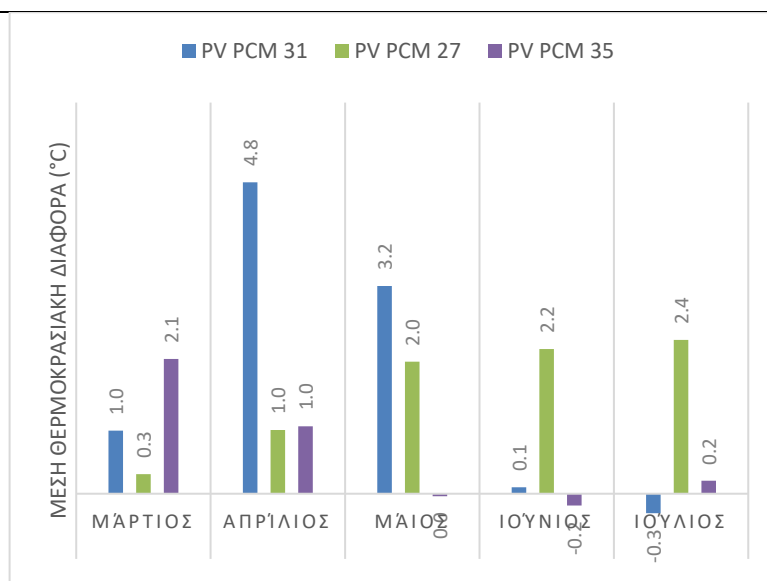
Τα διαγράμματα 5.68 έως 5.71 απεικονίζουν τη μέση και μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας της εμπρόσθιας και της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ με το ΦΒ ΑΝΑΦ. Πιο αναλυτικά, εξετάζοντας το διάγραμμα 5.64 διαπιστώθηκε ότι το ΦΒ ΥΑΦ 35 παρουσίασε αρνητική διαφορά ορισμένων μηνών. Από τον Απρίλιο μέχρι και τον Ιούλιο ο μέσος όρος της διαφοράς της οπίσθιας θερμοκρασίας του σε σχέση με εκείνη του ΦΒ ΑΝΑΦ ήταν αρνητικός, δηλαδή το ΦΒ ΑΝΑΦ παρουσίαζε τιμές θερμοκρασίας μικρότερες εκείνων του ΦΒ ΥΑΦ 35. Η αρνητική αυτή διαφορά είχε μέγιστη τιμή τους 2.7°C και ελάχιστη τον 1.5°C . Αντίθετα, το Φεβρουάριο και το Μάρτιο το ΦΒ ΥΑΦ 35 εμφάνιζε θετική θερμοκρασιακή διαφορά, η οποία ανήλθε μέχρι τους 2.2°C . Τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27 είχαν όλους τους μήνες θετική διαφορά σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ. Το μήνα Φεβρουάριο εμφανίστηκαν οι μέγιστες διαφορές για το ΦΒ ΥΑΦ 31 και για το ΦΒ ΥΑΦ 27, οι οποίες ισούταν με 6.7°C και 3.5°C αντίστοιχα. Στο διάγραμμα 5.65 απεικονίζονται οι μέγιστες διαφορές της οπίσθιας θερμοκρασίας, με εκείνες του ΦΒ ΥΑΦ 31 να σημειώνονται αρκετά μεγαλύτερες. Μία χαρακτηριστική ημέρα του Μαρτίου, η διαφορά του ΦΒ ΥΑΦ 31 άγγιξε τους 13.1°C και του ΦΒ ΥΑΦ 27 τους 8.8°C . Το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε τη μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά το Φεβρουάριο, η οποία ήταν ίση με 5.6°C , ενώ το Μάιο και τον Απρίλιο η διαφορά ήταν εξαιρετικά μικρή και έφτασε κοντά στον 1°C . Αντίθετα, τα διαγράμματα 5.66 και 5.67 παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα στη σύγκριση της εμπρόσθιας θερμοκρασίας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ. Το Μάρτιο και τον Απρίλιο οι μέσες τιμές των θερμοκρασιακών διαφορών ήταν θετικές, ενώ το Μάιο, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο εμφανίστηκαν μηδενικές και αρνητικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, το Μάιο το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε ίδια μέση τιμή θερμοκρασίας με το ΦΒ ΑΝΑΦ, τον Ιούνιο είχε μικρότερη κατά 0.2°C και τον Ιούλιο ελάχιστα μεγαλύτερη και ίση με 0.2°C και οι μέγιστες τιμές για το συγκεκριμένο διάστημα, κυμάνθηκαν από 1.7°C - 2.1°C . Το ΦΒ ΥΑΦ 31 το μήνα Ιούλιο είχε και εκείνο αρνητική διαφορά, αλλά τους περισσότερους μήνες εμφάνισε τη μεγαλύτερη μέση και μέγιστη τιμή θερμοκρασιακής διαφοράς. Τέλος, οι μέσες τιμές των ΦΒ ΥΑΦ 27 αυξανόταν με το πέρασμα των μηνών, φτάνοντας μέχρι και τους 2.4°C το μήνα Ιούλιο.



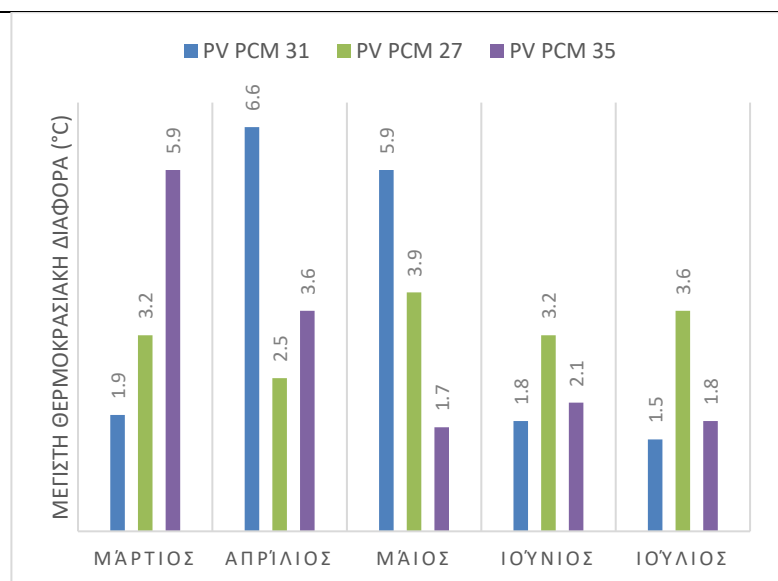
Διάγραμμα 5.68 Μέση θερμοκρασιακή διαφορά της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα



Διάγραμμα 5.69 Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της οπίσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα



Διάγραμμα 5.70 Μέση θερμοκρασιακή διαφορά της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα



Διάγραμμα 5.71 Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της εμπρόσθιας επιφάνειας των ΦΒ ΥΑΦ σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ μίας τυπικής ημέρας ανά μήνα

Κεφάλαιο 6ο : Συζήτηση - συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική συγκριτική μελέτη αξιολόγησης της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς τεσσάρων ΦΒ πλαισίων, στα τρία εκ των οποίων είχαν ενσωματωθεί ΥΑΦ με στόχο την παθητική ψύξη τους. Η έρευνα διήρκεσε έξι μήνες από το Φεβρουάριο μέχρι τον Ιούλιο του 2019 και συνολικά λήφθηκαν πενήντα ημερήσιες μετρήσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, το ΦΒ ΥΑΦ 31 παρουσίαζε τη χαμηλότερη θερμοκρασία οπίσθιας επιφάνειας, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα τρία ΦΒ πλαίσια, σχεδόν όλες τις πειραματικές ημερήσιες μετρήσεις του Φεβρουαρίου, Μαρτίου και Απριλίου. Από το Μάιο και έπειτα, ελάχιστη θερμοκρασία εμφάνιζε το ΦΒ ΥΑΦ 31 και το ΦΒ ΥΑΦ 27 με μικρές θερμοκρασιακές διαφορές να σημειώθηκαν μεταξύ τους. Μελετώντας τις τιμές των θερμοκρασιών λειτουργίας του συνόλου των καταγεγραμμένων μετρήσεων της πειραματικής μελέτης εξακριβώθηκε ότι επιτεύχθηκε ψύξη του πλαισίου κατά μέσο όρο 3.7°C . Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται ανά μήνα οι μέσες και μέγιστες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας του ΦΒ ΑΝΑΦ και ΦΒ ΥΑΦ 31. Η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ ΥΑΦ 31 δε συνοδεύτηκε με αντίστοιχη βελτίωση της απόδοσης του, όπως θα ήταν αναμενόμενο. Στην πλειονότητα των πειραμάτων, τα πρώτα χρονικά διαστήματα λειτουργίας των ΦΒ κατά τα οποία το PCM RT 31 έλιωνε, το ΦΒ ΥΑΦ 31 είχε τη μεγαλύτερη ή τη δεύτερη μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή. Όμως, μόλις η θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ ξεπερνούσε το θερμοκρασιακό εύρος τήξης του ΥΑΦ, έπαυε να έχει την πρώτη ή δεύτερη μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή. Εξετάζοντας τη συνολική ημερήσια ενεργειακή συμπεριφορά του ΦΒ ΥΑΦ 31 κάθε εξεταζόμενης ημέρας, συμπεραίνεται ότι από τις συνολικά 50, το ΦΒ ΥΑΦ 31 είχε τις 5 τη μικρότερη ενεργειακή παραγωγή, τις 28 τη δεύτερη μεγαλύτερη και 1 τη βέλτιστη. Κατά μέσο όρο η ενεργειακή παραγωγή του ΦΒ ΥΑΦ 31 αυξήθηκε κατά 1.2% και η μέγιστη διαφορά που επιτεύχθηκε, καταγράφηκε στις 21 Ιουνίου, ίση με 4.2%.

	Μέση τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 31 ($^{\circ}\text{C}$)	Μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 31 ($^{\circ}\text{C}$)
Φεβρουάριος	7.0	10.8
Μάρτιος	6.3	13.1
Απρίλιος	2.6	6.8
Μάιος	2.6	7.4
Ιούνιος	1.2	4.2
Ιούλιος	2.8	9.0

Πίνακας 6.1 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 31 ανά μήνα

Η θερμική κατάσταση του ΦΒ ΥΑΦ 27 προσδιορίστηκε ως τη δεύτερη βέλτιστη αμέσως μετά του ΦΒ ΥΑΦ 31. Επιτεύχθηκε βελτίωση στη θερμική συμπεριφορά κατά μέσο όρο 2.5°C για το σύνολο

των πειραματικών μετρήσεων και στον πίνακα 6.2 περιλαμβάνονται τα στοιχεία της θερμοκρασιακής βελτίωσης που σημειώθηκε ανά μήνα. Το ΦΒ ΥΑΦ 27 εμφάνισε τη καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά όλες τις εξεταζόμενες ημέρες, με εξαίρεση στις 20 Φεβρουαρίου που είχε τη δεύτερη καλύτερη. Κατά μέσο όρο υπολογίστηκε ότι με την ενσωμάτωση του PCM RT 27 στην οπίσθια επιφάνεια του ΦΒ, επιτεύχθηκε αύξηση 2.5% στην ενεργειακή παραγωγή του και η μέγιστη αύξηση η οποία καταγράφηκε ήταν ίση με 8.2% στις 21 Ιουνίου.

	Μέση τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 (°C)	Μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 (°C)
Φεβρουάριος	3.6	9.0
Μάρτιος	3.0	11.1
Απρίλιος	1.3	5.1
Μάιος	2.7	8.1
Ιούνιος	1.2	3.7
Ιούλιος	3.2	8.5

Πίνακας 6.2 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 ανά μήνα

Σε αντίθεση, με τη βελτιωμένη θερμική και ενεργειακή συμπεριφορά που παρουσίαζαν τα ΦΒ ΥΑΦ 31 και ΦΒ ΥΑΦ 27, το ΦΒ ΥΑΦ 35 είχε χειρότερη σε σχέση με το ΦΒ ΑΝΑΦ. Από τον Απρίλιο μέχρι και τον Ιούλιο, η θερμοκρασία λειτουργίας του οπίσθιου μέρους του ΦΒ ΥΑΦ 35 καταλάμβανε τις μέγιστες τιμές στο μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας, σε σύγκριση με τις τιμές των υπόλοιπων ΦΒ. Το Φεβρουάριο και το Μάρτιο μέγιστες θερμοκρασίες κατέγραφε το ΦΒ ΑΝΑΦ, με το ΦΒ ΥΑΦ 35 να ακολουθεί. Μελετώντας για το σύνολο των ημερήσιων μετρήσεων τις τιμές της θερμοκρασίας λειτουργίας του ΦΒ ΥΑΦ 35 σε σύγκριση με του ΦΒ ΑΝΑΦ, προέβει το συμπέρασμα ότι δε συντελέστηκε ψύξη του ΦΒ ΥΑΦ 35, αλλά αντίθετα, πραγματοποιήθηκε κατά μέσο όρο αύξηση 1.1°C στην οπίσθια θερμοκρασία του. Στον πίνακα 6.3 αποτυπώνεται η θερμική κατάσταση του ΦΒ ΥΑΦ 35 σε σχέση με εκείνη του ΦΒ ΑΝΑΦ ανά μήνα (οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν πως η θερμοκρασία του ΦΒ ΑΝΑΦ ήταν μικρότερη και ότι δεν επιτεύχθηκε ψύξη του ΦΒ ΥΑΦ 35). Όσον αφορά την ενεργειακή κατάσταση του, το ΦΒ ΥΑΦ 35 τις 32 από τις συνολικά 50 εξεταζόμενες ημέρες παρήγαγε τη μικρότερη ποσότητα ενέργειας. Η ενσωμάτωση του PCM RT 35 HC στο πλαίσιο δεν ευλόγησε την αύξηση της ενεργειακής παραγωγής του, αλλά αντιστρόφως προκάλεσε τη μείωση της κατά 0.7%.

	Μέση τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 35 (°C)	Μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 35 (°C)
Φεβρουάριος	1.7	5.6
Μάρτιος	1.8	5.3
Απρίλιος	-3.2	1.1
Μάιος	-3.0	1.9
Ιούνιος	-2.5	3.8
Ιούλιος	-1.5	2.6

Πίνακας 6.3 Μέση και μέγιστη τιμή διαφοράς θερμοκρασίας της οπίσθιας επιφάνειας του ΦΒ ΑΝΑΦ από του ΦΒ ΥΑΦ 27 ανά μήνα
(η αρνητική διαφορά σημαίνει ότι η θερμοκρασία του ΦΒ ΥΑΦ 35 ήταν μεγαλύτερη και ότι δεν πραγματοποιήθηκε ψύξη του ΦΒ ΥΑΦ 35)

Συνοψίζοντας, στη συγκεκριμένη έρευνα αποδείχθηκε μέσω πειραματικών δεδομένων ότι η χρήση του PCM RT 27 και του PCM RT 31 ήταν αποτελεσματική στη παθητική ψύξη ΦΒ πλαισίων, ενώ η χρήση του PCM RT 35 HC δεν ευνόησε τη βελτίωση της θερμικής και ηλεκτρικής κατάστασης του πλαισίου. Πιθανή εξήγηση της συμπεριφοράς του ΦΒ ΥΑΦ 35 να είναι η επαφή μεταξύ του δοχείου και της οπίσθιας επιφάνειας του πλαισίου. Η κατασκευή των δοχείων πλήρωσης των ΥΑΦ και η ενσωμάτωση τους στο πίσω μέρος των ΦΒ πραγματοποιήθηκε από μέλος του εργαστηρίου και όχι μέσω κάποιας βιομηχανικής διαδικασίας, με αποτέλεσμα τη δυσκολία επίτευξης της βέλτιστης επαφής μεταξύ δοχείων και οπίσθιας επιφάνειας ΦΒ. Σε περίπτωση δημιουργίας κενού μεταξύ τους εμποδίζεται η βέλτιστη διάδοση της θερμότητας από το πλαίσιο στο δοχείο, καθώς μεσολαβεί αέρας, ο οποίος είναι κακός αγωγός της θερμότητας.

Συμπεραίνοντας, η χρήση των ΥΑΦ για την ελαχιστοποίηση των θερμοκρασιών λειτουργίας των ΦΒ πλαισίων είναι ωφέλιμη, καθώς εξυπηρετεί στην αύξηση της ηλεκτρικής ενεργειακής παραγωγής. Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω εξέταση του PCM RT 35 HC, καθώς δεν πραγματοποιήθηκε δυνατή η αξιολόγηση του στη συγκεκριμένη μελέτη. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε σε επόμενο βήμα, η εξέταση κατά πόσο η παθητική ψύξη των ΦΒ μέσω της χρήσης των ΥΑΦ είναι οικονομικά βιώσιμη, ειδικά όταν εκείνα εφαρμόζονται σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες.

Βιβλιογραφία

1. A. Hasan, J. Sarwar, H. Alnoman, S. Abdelbaqi, Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate, *Solar Energy*, Vol 146, Pages 417-429 (2017)
2. A. Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, J. Sarwar, B. Norton, Increased photovoltaic performance through temperature regulation by phase change materials: Materials comparison in different climates, *Solar Energy*, Vol 115, Pages 264-276 (2015)
3. Anna Machniewicz, Dominika Knera, Dariusz Heim, Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels, *Energy Procedia*, Vol 78, Pages 1684-1689 (2015)
4. Cristopher J. Smith, Piers M. Forster, Rolf Crook, Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling, *Applied Energy*, Vol 126, Pages 21-28 (2014)
5. E. Radziemska, The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, *Renewable Energy*, Vol 28, Issue 1, Pages 1-12 (2003)
6. Ewald Japs, Gerrit Sonnenrein, Stefan Krauter, Jadran Vrabec, Experimental study of phase change materials for photovoltaic modules: Energy performance and economic yield for the EPEX spot market, *Solar Energy*, Vol 140, Pages 51-59 (2016)
7. Jiaxin Zhao, Tao Ma, Zhenpeng Li, Aotian Song, Year-round performance analysis of a photovoltaic panel coupled with phase change material, *Applied Energy*, Vol 245, Pages 51-64 (2019)
8. Jiaxin Zhao, Zhenpeng Li, Tao Ma, Performance analysis of a photovoltaic panel integrated with phase change material, *Energy Procedia*, Vol 158, Pages 1093-1098 (2019)
9. Nikolaos Savvakis, Theodoros Tsoutsos, Performance assessment of a thin film photovoltaic system under actual Mediterranean climate conditions in the island of Crete, *Energy*, Vol 90, Part 2, Pages 1435-1455 (2015)
10. Rok Stropnik, Uros Stritih, Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM, *Renewable Energy*, Vol 97, Pages 671-679 (2016)
11. Skoplaki E., Palyvos J.A., On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, *Solar Energy*, Vol 83, Issue 5, Pages 614-624 (2009)
12. Sourav Khanna, K.S. Reddy, Tapas K. Mallick, Climatic behavior of solar photovoltaic integrated with phase change material, *Energy Conversion and Management*, Vol 166, Pages 590-601 (2018)

13. Sourav Khanna, K.S. Reddy, Tapas K. Mallick, Effect of climate on electrical performance of finned phase change material integrated solar photovoltaic, Solar Energy, Vol 174, Pages 593-605 (2018)
14. Sourav Khanna, K.S. Reddy, Tapas K. Mallick, Performance analysis of titled photovoltaic system integrated with phase change materials under varying operating conditions, Energy, Vol 133, Pages 887-899 (2017)
15. Subhash Chander, A. Purohit, Anshu Sharma, Arvind, S.P. Nehra, M.S. Dhaka, A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature, Energy Reports, Vol 1, Pages 104-109 (2015)
16. Zhenpeng Li, Tao Ma, Jiaxin Zhao, Aotian Song, Yuanda Cheng, Experimental study and performance analysis on solar photovoltaic panel integrated with phase change material, Energy, Vol 178, Pages 471-486 (2019)
17. Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών, «Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2018», 2018
18. Τσούτσος Θεοχάρης και Κανάκης Ιωάννης, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογίες & Περιβάλλον», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2013
19. Τσούτσος Θεοχάρης και Κανάκης Ιωάννης, «Σημειώσεις Τεχνολογίες Ενέργειας και Περιβάλλοντος», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2018-2019
20. Φραγκιαδάκης Ι.Ε., «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 3^η Έκδοση, 2008
21. <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (03/2019)
22. <https://www.pv-engineering.de/en/home/> (03/2019)
23. <https://www.luxor-solar.com/en/solar-modules/solo-line/solo-line-36.html> (02/2019)
24. <https://ourworldindata.org/renewable-energy#solar-pv-energy> (03/2019)
25. <https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/organische-pcm-rt> (02/2019)
26. https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_-RT35HC_EN_06082018.PDF (02/2019)
27. https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_-RT31_EN_06082018.PDF (02/2019)
28. https://www.researchgate.net/figure/Physical-properties-of-the-PCM-Rubitherm-RT-27_tbl1_316667504 (02/2019)

29. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1 (02/2019)
30. http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=Crete&poli=Chania_Souda «Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία» (03/2019)
31. <https://www.meteo-news.gr/2014/01/to-klima-tis-kritis.html> (03/2019)
32. <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf> (05/2019)
33. <https://geoshen.com/posts/total-solar-power-capacity-by-country-2016> (08/2019)
34. http://www.megakastro.gr/tempe/bft_gr.htm (05/2019)
35. https://www.researchgate.net/publication/235761440_Hopfield_Neural_Network_Optimized_Fuzzy_Logic_Controller_for_Maximum_Power_Point_Tracking_in_a_Photovoltaic_System (08/2019)

Παράρτημα

21.02.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
9:10	21.8	29.6	24.1	26.8	6.8	477	5.71	5.43	5.31	5.01
9:20	24.5	32.3	26.8	29.6	7.6	533	6.28	5.88	5.88	5.63
9:30	26.7	35.0	29.2	32.1	8.0	561	6.67	6.28	6.37	6.13
9:40	28.4	36.8	30.9	34.1	8.7	611	7.03	6.82	6.94	6.33
9:50	29.9	38.6	32.3	36.1	9.3	653	7.56	7.40	7.61	7.17
10:00	31.9	40.1	32.9	37.1	9.7	681	7.91	7.61	7.81	7.40
10:10	32.9	42.6	34.0	39.0	10.3	723	8.32	7.98	8.42	7.87
10:20	34.0	43.9	35.4	40.8	10.7	751	8.33	8.17	8.46	8.01
10:30	36.0	46.3	38.7	42.8	11.4	800	8.81	8.57	9.07	8.51
10:40	38.2	47.9	42.1	44.2	11.9	835	8.84	8.88	9.14	8.65
10:50	39.8	48.5	44.2	45.2	12.1	849	8.92	9.14	9.36	8.83
11:00	41.1	49.3	46.0	46.4	12.6	884	9.33	9.31	9.63	9.22
11:10	42.3	49.4	46.8	46.2	12.9	905	9.49	9.68	9.90	9.72
11:20	44.5	51.5	47.6	47.0	13.3	933	9.60	9.87	10.04	9.83
11:30	47.5	54.2	49.3	48.6	13.7	961	9.87	10.08	10.34	10.26
11:40	47.4	53.9	50.2	49.0	14.0	982	9.94	10.22	10.65	10.49
11:50	48.0	55.6	51.5	50.4	14.7	1,032	10.64	10.89	11.23	10.93
12:00	48.0	51.6	50.0	47.0	15.0	1,053	10.67	10.91	11.30	11.03
12:10	49.3	56.5	52.6	52.1	15.1	1,060	10.67	10.92	11.21	11.06

12:20	50.7	58.0	54.2	54.1	15.6	1,095	10.73	11.01	11.26	11.16
12:30	51.8	59.8	55.6	56.8	15.8	1,109	10.86	11.13	11.03	11.34
12:40	53.7	61.5	57.4	59.6	3.1	218	1.70	1.79	1.94	1.78
12:50	52.6	55.1	55.0	55.6	2.1	147	1.28	1.03	1.56	1.45
13:00	45.4	41.8	46.9	45.4	15.1	1,060	10.69	10.97	10.83	10.89
13:10	42.8	47.1	45.8	48.3	14.8	1,039	10.14	10.45	10.50	10.74
13:20	46.7	55.4	50.3	54.4	14.9	1,046	10.50	10.61	10.88	10.93
13:30	48.9	57.0	52.5	56.3	14.8	1,039	10.25	10.57	10.68	10.65
13:40	47.6	52.0	51.3	53.6	14.6	1,025	10.02	10.45	10.61	10.57
13:50	48.6	55.0	53.0	56.2	14.3	1,004		10.26	10.34	10.30
14:00	49.3	56.2	53.4	56.6	14.2	996		10.06	10.12	10.14
14:10	50.1	56.8	54.0	57.0	13.8	968	9.68	9.94	9.79	9.83
14:20	49.4	55.1	53.7	56.5	13.7	961	9.56	9.59	9.75	9.71
14:30	49.5	54.8	53.2	56.2	13.0	912	9.23	9.10	9.43	9.50
14:40	49.0	53.3	52.6	55.3	12.6	884	8.60	8.72	9.01	8.86
14:50	45.3	47.9	48.8	50.8	12.6	884	8.68	8.68	8.68	8.90
15:00	45.5	49.8	48.8	51.4	12.3	863		8.32	8.65	8.71
15:10	43.1	48.4	48.1	51.2	12.2	856		8.22	8.55	8.52

22.02.2019

Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
9:10	26.0	34.7	28.4	30.7	5.6	393	5.53	4.99	5.06	4.77
9:20	28.3	36.4	30.4	33.2	7.3	513	6.13	5.75	5.83	5.43
9:30	29.9	38.7	31.9	35.2	7.8	548	6.48	6.03	6.22	5.79
9:40	31.2	40.6	32.9	37.2	8.6	604	7.02	6.78	6.72	6.44
9:50	32.6	42.4	34.0	39.0	9.4	660	7.48	7.20	7.50	7.02
10:00	34.0	44.2	35.2	40.7	9.7	681	7.73	7.50	7.52	7.23
10:10	35.7	46.5	37.8	42.6	10.1	709	7.85	7.67	7.76	7.48
10:20	37.7	47.1	40.8	43.7	10.5	737	8.24	7.98	8.17	7.78
10:30	40.3	49.3	43.8	45.4	11.1	779	8.65	8.52	8.65	8.38
10:40	42.0	50.4	45.7	46.2	11.7	822	8.77	8.75	9.04	8.64
10:50	43.2	51.1	47.0	46.7	11.9	836	8.91	8.85	9.04	8.84
11:00	44.3	52.0	48.2	47.7	12.3	864	9.02	9.17	9.27	9.11
11:10	45.3	52.8	49.3	48.4	12.7	892	9.37	9.41	9.54	9.43
11:20	45.5	52.7	49.6	48.7	12.9	906	9.52	9.45	9.65	9.54
11:30	46.4	54.4	50.6	49.6	13.2	927	9.71	9.67	9.91	9.67
11:40	47.3	54.8	51.5	50.2	13.5	948	9.68	9.79	10.14	9.90
11:50	48.2	56.2	52.3	51.5	13.6	955	9.75	9.83	10.02	9.83
12:00	49.0	56.7	53.1	53.2	13.9	976	9.62	9.93	10.06	9.90
12:10	49.5	56.7	53.8	54.9	14.1	990	9.67	10.14	10.21	10.10
12:20	50.3	57.5	54.3	56.3	14.2	997	9.49	10.10	10.22	10.10
12:30	50.2	57.4	54.5	56.7	14.3	1,004	9.73	10.02	10.32	10.10
12:40	49.4	56.1	53.9	56.3	14.3	1,004	9.83	10.10	10.26	10.06
12:50	49.2	56.4	53.6	56.3	14.4	1,011	9.79	10.06	10.41	10.09

13:00	49.4	57.2	54.2	57.3	14.3	1,004	9.70	9.96	10.18	9.95
13:10	49.7	56.8	54.2	57.4	14.3	1,004	9.56	9.94	10.18	10.02
13:20	49.1	55.7	54.3	57.6	14.5	1,018	9.49	10.06	10.26	10.02
13:30	48.9	56.1	54.0	56.6	14.5	1,018	9.59	9.98	10.25	9.94
13:40	48.9	55.6	53.6	56.9	14.2	997	9.23	9.85	10.01	9.91
13:50	48.4	55.2	53.4	56.2	13.9	976	9.72	9.90	10.02	9.79
14:00	48.7	56.1	53.2	55.8	13.8	969	9.41	9.70	9.91	9.75
14:10	49.2	55.5	52.5	54.9	13.4	941	9.33	9.36	9.49	9.22
14:20	49.4	54.5	52.1	54.4	13.2	927	9.07	9.12	9.36	9.20
14:30	49.1	54.0	51.6	54.0	12.7	892	8.64	8.68	8.86	8.76
14:40	47.7	52.0	50.4	52.9	12.7	892	8.42	8.59	8.75	8.65
14:50	45.9	50.0	48.8	50.7	12.2	857	8.04	8.23	8.52	8.29
15:00	45.1	48.7	47.4	49.5	11.8	829	7.66	7.86	8.30	8.17
15:10	43.1	46.5	46.5	48.9	11.2	787	7.41	7.44	7.93	7.72

01.03.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
09:10	23.8	31.2	26.5	29.1	7.7	541	7.25	6.75	6.89	6.71
09:20	26.5	33.3	28.3	30.4	8.3	583	7.78	7.42	7.38	7.28
09:30	27.7	34.3	29.5	31.3	9.2	646	8.42	7.92	8.09	7.99
09:40	28.3	35.3	30.5	32.5	9.5	667	8.55	8.21	8.32	8.30
09:50	29.1	36.4	31.7	34.2	9.9	695	8.78	8.38	8.61	8.39
10:00	30.2	37.8	32.5	35.4	10.4	730	9.20	8.90	9.09	8.61
10:10	31.3	40.1	33.5	37.5	10.9	765	9.37	9.14	9.34	8.77

10:20	31.7	40.2	34.1	38.3	11.9	836	9.92	9.57	10.17	9.01
10:30	32.6	41.0	34.9	38.5	12.2	857	10.24	9.96	10.19	9.80
10:40	34.5	43.3	37.2	40.3	12.4	871	10.41	10.30	10.45	10.20
10:50	34.9	43.6	39.3	41.3	12.6	885	10.47	10.27	10.58	10.29
11:00	35.3	43.9	40.4	41.4	13.8	969	11.10	10.97	11.22	10.90
11:10	36.9	45.9	41.8	43.1	14.1	990	11.32	11.10	11.23	11.01
11:20	38.1	46.9	42.8	43.7	14.0	983	11.08	11.26	11.19	11.16
11:30	37.8	45.0	42.0	42.7	3.9	274	2.71	2.58	2.77	2.83
11:40	36.4	42.1	40.4	41.2	3.7	260	2.54	2.62	2.65	2.27
11:50	35.2	39.4	38.2	38.5	14.7	1,032	11.91	11.84	12.27	11.75
12:00	32.6	32.1	33.1	32.7	15.0	1,053	12.47	12.57	12.81	12.01
12:10	34.3	42.1	36.6	40.0	16.0	1,124	11.59	11.66	11.91	11.40
12:20	35.7	45.0	39.8	41.5	15.4	1,081	11.74	11.74	11.94	11.82
12:30	37.2	46.8	42.3	43.6	15.4	1,081	11.61	11.75	11.72	11.69
12:40	39.6	49.4	44.1	45.3	15.5	1,088	11.61	11.67	11.63	11.70
12:50	41.1	49.1	44.7	45.5	15.4	1,081	12.38	12.59	12.62	12.19
13:00	42.3	50.3	45.8	46.4	16.5	1,159	11.56	11.59	12.62	11.28
13:10	40.8	47.1	44.5	44.8	15.4	1,081	11.21	11.26	11.36	11.26
13:20	40.3	47.2	44.0	45.2	15.3	1,074	11.30	11.21	11.32	11.01
13:30	41.4	48.6	44.6	45.7	15.3	1,074	11.13	11.26	11.20	10.79
13:40	40.6	46.8	43.8	44.2	15.2	1,067	10.79	10.93	11.04	10.59
13:50	40.1	46.6	43.2	44.3	14.9	1,046	10.69	10.77	10.81	10.49
14:00	40.4	47.0	43.3	44.4	14.7	1,032	10.65	10.56	10.64	10.26
14:10	40.2	46.2	42.8	43.9	14.5	1,018	10.44	10.73	10.55	10.19
14:20	39.6	44.0	41.6	42.1	14.4	1,011	10.08	10.08	10.20	9.77
14:30	38.1	43.3	40.4	41.7	14.2	997	9.49	9.79	10.08	9.59
14:40	36.4	39.7	38.2	38.5	13.7	962	9.49	9.44	9.89	10.04

14.03.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
8:50	15.0	17.0	15.5	16.2	2.6	183	2.11	2.23	1.99	1.95
9:00	17.8	22.8	19.6	21.4	3.0	211	2.30	2.38	2.10	2.04
9:10	21.1	26.9	23.4	25.4	3.4	239	2.81	2.51	2.64	2.39
9:20	23.5	30.9	26.9	29.6	2.7	190	1.73	1.84	1.81	1.63
9:30	25.9	33.3	29.3	32.5	3.0	211	1.80	2.09	2.02	2.10
9:40	25.7	27.9	27.0	27.6	3.0	211	2.07	2.11	2.04	2.05
9:50	24.0	22.6	25.0	23.7	2.3	162	1.60	1.66	1.49	1.49
10:00	22.1	20.4	23.3	21.5	2.5	176	1.79	1.76	1.91	1.62
10:10	22.6	24.5	25.0	24.7	13.8	969	11.10	11.34	12.01	11.38
10:20	25.7	30.7	27.3	29.0	3.4	239	2.41	2.64	2.54	2.12
10:30	26.4	31.1	28.2	30.2	3.0	211	2.21	2.25	2.35	2.20
10:40	26.2	26.9	27.0	27.3	3.7	260	2.97	2.62	2.73	2.69
11:00	28.5	35.5	31.2	34.5	16.3	1,145	12.93	13.49	13.54	13.26
11:10	28.5	32.9	30.3	32.4	2.5	176	1.66	1.71	1.79	1.64
11:20	31.0	38.0	31.6	36.0	14.4	1,011	11.43	11.59	11.65	11.59
11:30	34.9	47.8	36.7	44.3	14.3	1,004	10.91	11.00	11.60	11.14
11:40	37.0	49.9	40.8	46.6	14.6	1,025	11.25	11.16	11.69	11.22
11:50	38.9	48.6	44.6	46.6	14.7	1,032	11.32	11.26	11.60	11.28
12:00	40.6	48.5	46.1	46.8	15.0	1,053	11.46	11.62	11.73	11.46
12:10	42.6	49.1	47.5	47.5	15.1	1,060	11.45	11.65	12.02	11.49
12:20	43.2	49.4	47.8	47.5	15.3	1,074	11.57	11.75	12.15	11.58

12:30	42.1	46.5	46.5	46.8	15.3	1,074	11.66	11.72	12.15	11.51
12:40	42.4	48.0	46.4	46.7	15.5	1,088	11.58	11.81	12.06	11.62
12:50	42.0	46.9	46.0	46.2	15.6	1,096	11.57	11.80	12.15	11.89
13:00	40.9	45.1	44.7	44.7	15.5	1,088	11.52	11.84	11.94	11.72
13:10	41.6	47.3	45.7	46.4	15.5	1,088	11.36	11.66	11.94	11.47
13:20	42.7	49.1	47.0	47.4	15.5	1,088	11.26	11.67	11.84	11.50
13:30	41.6	45.7	45.7	46.2	15.3	1,074	11.21	11.59	11.59	11.37
13:40	42.0	48.1	46.2	46.8	15.0	1,053	10.74	11.08	11.13	11.05
13:50	41.8	46.8	46.1	46.3	14.9	1,046	10.93	11.10	11.30	11.01
14:00	41.9	47.2	46.0	46.1	14.9	1,046	10.90	10.98	11.13	10.98
14:10	41.3	46.5	45.7	46.2	14.6	1,025	10.49	10.77	10.81	10.73
14:20	41.2	46.7	45.8	46.7	14.4	1,011	10.28	10.57	10.57	10.44
14:30	41.2	45.8	45.2	45.8	14.0	983	9.92	10.21	10.28	10.16
14:40	39.6	42.6	43.6	44.3	13.6	955	9.73	10.05	10.13	9.90
14:50	36.7	40.3	40.9	42.8	13.4	941	9.69	10.02	9.97	9.88

18.03.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
08:50	18.6	25.6	18.3		6.4	449	6.50	6.67	6.48	6.30
09:00	24.4	36.3	27.8	31.0	7.7	541	6.74	6.81	6.93	6.52
09:10	28.3	37.4	31.1	34.6	8.2	576	7.13	7.23	7.33	6.88
09:20	30.1	39.0	32.8	36.9	8.7	611	7.64	7.70	7.75	7.39

09:30	31.6	41.8	34.2	39.7	9.1	639	7.80	7.86	7.92	7.51
09:40	33.4	43.7	35.6	41.7	9.4	660	8.11	8.19	8.38	7.90
09:50	35.7	48.8	40.0	44.8	10.0	702	8.17	8.39	8.54	8.19
10:00	38.2	49.5	44.3	46.0	11.0	772	8.79	8.99	9.08	8.75
10:10	41.6	51.7	47.4	47.3	11.3	794	9.00	9.11	9.22	8.96
10:20	44.4	52.7	49.4	48.2	11.8	829	9.16	9.23	9.47	9.33
10:30	46.7	52.6	50.3	48.7	12.1	850	9.52	9.61	9.77	9.63
10:40	47.5	53.1	50.9	48.3	12.5	878	9.64	9.83	9.90	9.71
10:50	47.4	53.7	51.1	48.4	13.0	913	10.03	10.18	10.35	10.10
11:00	48.7	56.0	52.4	50.8	13.2	927	10.07	10.34	10.36	10.17
11:10	50.1	57.5	53.9	53.3	13.4	941	10.13	10.49	10.53	10.37
11:20	51.6	59.2	55.4	55.7	13.8	969	10.30	10.52	10.60	10.41
11:30	52.9	60.0	56.7	57.7	14.0	983	10.38	10.53	10.68	10.53
11:40	54.0	60.6	57.7	59.1	14.3	1,004	10.43	10.68	10.69	10.56
11:50	54.0	60.3	57.4	58.3	14.7	1,032	10.71	10.71	10.91	10.88
12:00	55.0	61.5	58.3	59.8	14.7	1,032	10.69	10.84	10.91	10.79
12:10	55.1	60.0	58.3	59.7	15.0	1,053	11.13	11.29	11.25	11.19
12:20	50.9	53.9	55.4	55.5	15.1	1,060	11.30	11.37	11.32	11.10
12:30	48.5	51.6	53.4	53.1	15.2	1,067	11.37	11.56	11.43	11.40
12:40	49.2	54.8	53.7	53.5	15.2	1,067	11.35	11.48	11.48	11.37
12:50	49.3	54.9	53.6	52.5	15.3	1,074	11.43	11.41	11.39	11.28
13:00	48.7	53.0	52.9	51.3	15.3	1,074	11.37	11.46	11.43	11.45
13:10	48.4	53.7	52.9	51.6	15.1	1,060	11.25	11.17	11.43	11.28
13:20	50.0	56.9	53.8	53.8	15.0	1,053	10.91	10.77	11.10	10.99
13:30	49.7	54.8	53.2	53.1	15.0	1,053	10.81	10.93	11.08	10.99
13:40	49.6	55.5	53.1	53.6	15.4	1,081	11.02	11.16	11.46	11.37
13:50	49.3	54.9	52.7	53.5	14.8	1,039	10.33	10.69	11.10	10.73
14:00	48.9	53.3	51.7	52.6	14.5	1,018	10.17	10.26	10.53	10.46
14:10	47.8	51.1	50.9	51.7	14.4	1,011	10.01	10.14	10.06	10.02

14:20	47.2	51.4	50.1	51.2	14.6	1,025	9.87	10.26	10.65	10.34
14:30	41.7	42.6	44.3	43.9	14.6	1,025	0.00	0.00	0.00	0.00
14:40	40.0	43.4	43.3	43.8	14.7	1,032	10.45	10.73	11.14	10.64

	10.04.2019									
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
08:30	16.8	17.7	16.8	17.1	2.9	204	2.90	2.74	2.71	2.50
08:40	18.6	20.6	19.8	21.1	3.3	232	2.98	3.10	2.98	2.70
08:50	20.0	22.5	21.7	23.7	3.5	246	3.22	3.26	3.34	3.18
09:00	21.3	23.5	22.8	25.3	4.1	288	3.74	3.68	4.04	3.96
09:10	22.3	24.8	23.9	26.8	4.8	337	4.50	4.37	4.44	4.52
09:20	23.7	26.6	25.4	28.8	5.5	386	5.17	5.00	5.05	5.17
09:30	24.9	26.6	25.5	28.8	7.2	506	6.00	5.69	5.91	6.09
09:40	25.7	27.1	25.7	29.2	7.2	506	5.80	5.64	5.78	6.01
09:50	26.5	28.2	26.6	30.9	7.5	527	6.17	6.01	6.28	6.39
10:00	28.5	32.0	28.8	34.1	10.1	709	8.47	8.35	8.56	8.67
10:10	27.6	28.9	27.7	31.5	9.7	681	8.12	7.88	8.05	8.06
10:20	29.3	33.6	29.6	35.3	9.8	688	8.15	7.79	8.12	8.01
10:30	29.2	31.9	30.1	35.0	10.5	737	8.46	8.51	8.82	8.65
10:40	30.5	35.2	32.0	37.5	2.1	147	1.45	1.33	1.51	1.32
10:50	31.3	36.5	32.7	39.1	11.1	779	9.17	8.89	9.21	9.27
11:00	32.8	38.4	34.0	42.0	12.2	857	9.69	9.55	10.05	9.96
11:10	32.6	36.9	33.6	40.6	12.5	878	9.94	9.82	10.16	10.00

11:20	32.8	36.4	33.9	40.7	12.0	843	9.45	9.32	9.52	9.54
11:30	34.1	39.1	35.6	43.0	12.2	857	9.62	9.48	9.77	9.59
11:40	33.6	39.1	36.3	43.0	12.7	892	9.95	9.92	10.21	10.08
11:50	34.5	39.7	36.9	43.5	13.1	920	10.03	10.19	10.40	10.25
12:00	34.9	40.0	37.9	44.0	13.2	927	10.24	10.13	10.52	10.25
12:10	35.1	39.0	38.0	44.4	14.0	983	10.72	10.70	10.98	10.68
12:20	34.5	38.0	36.8	43.5	14.3	1,004	11.04	10.96	11.11	10.77
12:30	35.8	41.8	38.4	45.0	14.2	997	10.88	10.84	11.07	10.77
12:40	36.2	40.1	38.9	45.1	14.2	997	10.83	10.63	11.03	10.72
12:50	36.1	41.2	38.1	45.0	14.6	1,025	11.09	11.20	11.49	11.05
13:00	36.6	41.2	38.9	45.4	14.7	1,032	11.13	11.07	11.46	11.03
13:10	37.3	42.1	39.6	46.0	14.9	1,046	11.36	11.52	11.46	11.02
13:20	38.3	42.2	40.8	46.8	15.0	1,053	11.21	11.13	11.51	10.98
13:30	36.6	40.7	38.5	45.1	15.0	1,053	11.29	11.39	11.55	11.06
13:40	37.1	41.4	38.8	45.7	15.0	1,053	11.27	11.42	11.51	11.16
13:50	39.1	43.1	40.1	46.9	14.9	1,046	11.17	11.26	11.36	11.10
14:00	38.6	42.0	40.1	46.5	15.0	1,053	11.28	11.31	11.45	11.18
14:10	36.3	40.2	38.9	45.4	14.8	1,039	11.16	11.25	11.40	11.10
14:20	36.8	42.4	39.2	45.8	14.7	1,032	11.00	11.37	11.24	10.93
14:30	37.2	41.1	39.2	45.8	14.7	1,032	10.97	11.07	11.24	10.89
14:40	37.2	40.8	39.3	45.6	14.7	1,032	11.00	10.98	11.24	10.85
14:50	36.1	40.1	38.0	44.7	14.5	1,018	10.84	11.03	11.03	10.60
15:00	36.0	40.3	37.9	44.4	14.4	1,011	10.68	10.73	11.03	10.57
15:10	36.0	40.7	37.8	44.3	14.2	997	10.72	10.78	10.88	10.48
15:20	35.8	39.3	37.8	43.6	13.8	969	10.39	10.24	10.55	10.17
15:30	35.1	38.8	36.6	43.1	13.6	955	10.31	10.22	10.52	10.03
15:40	34.3	37.0	35.7	41.8	13.5	948	10.18	10.14	10.35	9.90
15:50	33.9	36.9	34.9	41.1	13.0	913	9.97	9.78	10.05	9.63
16:00	34.0	37.7	34.5	40.5	12.6	885	9.73	9.54	9.79	9.17

16:10	34.5	37.1	34.7	40.6	12.1	850	9.26	9.02	9.35	8.88
16:20	32.9	34.6	34.0	39.2	11.5	808	8.81	8.54	8.85	8.38
16:30	32.1	34.1	32.7	37.4	11.1	779	8.48	8.37	8.60	8.12
16:40	31.9	34.6	32.6	37.1	11.0	772	8.38	8.24	8.51	8.09

17.04.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
08:30	15.6	17.5	16.2	16.4	2.6	183	2.26	2.42	2.41	2.11
08:40	17.3	21.3	19.6	20.6	3.1	218	2.94	2.94	2.96	2.60
08:50	19.4	23.5	22.4	23.8	3.7	260	3.34	3.40	3.43	3.21
09:00	22.0	26.4	25.0	26.8	4.0	281	3.64	3.60	3.77	3.39
09:10	23.9	27.4	26.8	29.2	5.3	372	4.47	4.42	4.61	4.41
09:20	25.8	29.2	28.6	31.7	5.8	407	4.75	4.95	5.10	4.70
09:30	27.6	32.2	30.2	33.9	6.1	428	5.06	5.14	5.27	4.89
09:40	28.9	33.9	31.3	35.8	7.5	527	6.04	6.14	6.28	5.83
09:50	29.6	34.5	31.9	36.9	7.9	555	6.13	6.29	6.55	6.22
10:00	31.0	36.3	33.1	39.0	8.2	576	6.34	6.52	6.87	6.44
10:10	32.7	39.0	33.9	40.3	9.1	639	7.01	7.06	7.41	7.02
10:20	34.3	41.1	37.0	42.4	9.5	667	7.29	7.30	7.53	7.21
10:30	35.7	41.8	40.1	43.3	11.4	801	8.35	8.50	8.69	8.35
10:40	34.1	34.0	37.7	38.3	11.3	794	8.40	8.50	8.58	8.42
10:50	37.0	42.2	41.0	44.4	12.1	850	8.52	8.78	8.88	8.55
11:00	39.3	44.8	42.7	45.0	12.9	906	8.96	9.13	9.33	9.00

11:10	40.8	45.4	44.1	45.9	11.6	815	8.94	9.17	9.39	9.01
11:20	41.3	45.6	44.9	45.9	11.8	829	9.11	9.24	9.37	9.04
11:30	43.1	47.9	46.5	47.3	12.3	864	9.31	9.56	9.67	9.41
11:40	43.9	47.0	47.2	48.0	13.0	913	9.83	10.07	10.12	9.87
11:50	44.2	47.7	47.5	49.0	13.0	913	9.75	9.96	10.15	9.78
12:00	44.4	48.5	47.7	49.8	13.1	920	9.67	10.00	10.16	9.98
12:10	46.0	49.6	48.2	50.8	13.4	941	10.02	10.16	10.24	10.06
12:20	46.3	49.7	49.8	52.8	13.6	955	10.02	10.27	10.46	10.28
12:30	46.5	52.1	50.7	54.9	13.9	976	10.22	10.46	10.56	10.37
12:40	47.5	52.3	51.2	55.6	14.1	990	10.30	10.53	10.63	10.35
12:50	47.9	51.8	51.2	55.7	14.5	1,018	10.40	10.67	10.91	10.60
13:00	47.9	52.0	51.0	55.8	14.5	1,018	10.52	10.78	10.90	10.65
13:10	47.7	50.6	51.1	55.7	14.6	1,025	10.36	10.80	10.90	10.69
13:20	47.9	51.8	51.2	56.1	14.7	1,032	10.68	10.82	10.95	10.74
13:30	47.0	51.1	50.3	55.3	14.7	1,032	10.65	10.75	10.98	10.68
13:40	47.2	50.7	50.1	55.2	14.7	1,032	10.68	10.82	10.91	10.61
13:50	46.9	50.8	49.9	55.1	14.7	1,032	10.64	10.71	10.85	10.67
14:00	46.7	50.9	49.7	54.6	14.7	1,032	10.57	10.65	10.94	10.63
14:10	46.5	49.5	49.3	54.6	14.6	1,025	10.41	10.70	10.80	10.74
14:20	45.7	48.9	48.5	53.8	14.6	1,025	10.46	10.67	10.79	10.56
14:30	45.0	46.6	47.6	53.0	14.2	997	10.26	10.55	10.71	10.30
14:40	44.2	47.6	47.0	52.4	14.0	983	10.14	10.39	10.48	10.14
14:50	42.7	46.5	45.8	50.6	13.9	976	10.06	10.20	10.36	10.14
15:00	42.9	47.4	45.9	50.9	13.8	969	10.06	10.11	10.40	10.10
15:10	43.0	46.8	45.8	50.9	13.7	962	10.02	10.19	10.32	10.10
15:20	42.4	45.1	45.0	50.0	13.5	948	9.78	10.00	10.05	9.79
15:30	42.9	46.3	45.5	50.5	13.2	927	9.83	9.87	10.05	9.79
15:40	42.4	47.1	45.8	50.6	12.9	906	9.44	9.61	9.86	9.56
15:50	42.3	46.3	45.3	49.9	12.4	871	9.15	9.31	9.42	9.27

16:00	42.9	45.5	45.1	49.6	12.1	850	8.98	9.08	9.24	9.06
16:10	41.5	44.7	43.9	47.0	11.5	808	8.75	8.72	8.95	8.65
16:20	42.3	44.8	43.4	46.3	11.2	787	8.65	8.58	8.76	8.55
16:30	39.8	42.4	41.2	44.1	10.7	751	8.19	8.11	8.38	8.06
16:40	38.3	42.1	40.5	44.1	10.4	730	8.04	7.93	8.18	8.03
16:50	38.2	40.9	40.3	43.8	9.8	688	7.32	7.27	7.44	7.22
17:00	37.5	40.4	39.3	42.1	9.1	639	6.97	6.74	6.96	6.74
17:10	37.0	39.9	38.7	41.3	8.8	618	6.65	6.50	6.69	6.45
17:20	35.4	37.9	36.7	39.6	8.2	576	6.29	6.07	6.19	5.85
17:30	35.1	36.8	36.2	39.1	7.6	534	5.77	5.63	5.80	5.51
17:40	34.6	35.1	34.7	37.9	6.4	449	4.42	4.35	4.46	4.16
17:50	32.6	32.7	33.2	37.4	6.2	435	4.49	4.24	4.22	3.99

23.04.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
08:30					2.3	162	1.70	1.83	1.80	1.58
08:40	15.8	16.7	16.4	16.7	2.8	197	2.49	2.50	2.33	2.08
08:50	17.0	18.2	17.7	18.3	3.4	239	2.92	3.01	2.85	2.84
09:00	18.8	21.5	19.9	21.1	3.7	260	3.00	3.20	3.34	2.93
09:10	20.5	22.5	21.7	23.3	4.5	316	3.83	3.93	3.93	3.68
09:20	21.3	23.1	22.5	24.2	3.4	239	2.92	2.81	2.81	2.56
09:30	22.6	24.9	24.0	26.3	5.6	393	5.06	4.84	4.79	4.76
09:40	22.2	23.4	23.3	25.0	6.2	435	5.43	5.54	5.47	5.37

09:50	23.2	25.7	24.9	27.3	5.1	358	4.44	4.40	4.38	4.10
10:00	24.1	25.9	25.8	28.3	6.7	471	5.65	5.75	5.93	5.69
10:10	25.4	28.2	27.1	30.3	6.5	456	5.72	5.65	5.70	5.45
10:20	27.2	30.9	28.7	32.4	6.7	471	5.69	5.68	5.90	5.74
10:30	28.4	31.3	29.7	33.7	6.9	485	5.79	5.92	5.63	5.68
10:40	29.3	32.9	31.0	35.5	6.0	421	5.03	5.06	5.05	4.92
10:50	29.2	31.0	30.6	34.6	6.1	428	5.39	5.04	5.32	5.20
11:00	28.8	29.9	29.8	33.1	5.3	372	4.50	4.42	4.44	4.38
11:10	28.8	29.7	30.1	33.3	4.9	344	4.40	4.19	4.19	4.03
11:20	28.6	27.9	29.3	32.0	4.5	316	3.91	3.87	4.04	3.79
11:30	27.9	27.3	28.3	30.2	4.7	330	4.05	4.03	4.05	3.86
11:40	27.4	26.7	28.1	29.9	4.9	344	4.21	3.92	4.17	3.93
11:50	28.9	32.6	30.3	33.8						
12:00	30.9	36.4	32.3	37.5	4.9	344	4.08	3.98	3.98	3.92
12:10	32.6	37.8	33.1	39.3	11.9	836	9.56	9.74	9.80	9.66
12:20	32.4	34.1	31.7	36.5	11.5	808	9.14	9.21	9.22	9.35
12:30	34.2	37.5	34.0	39.7	10.5	737	8.30	8.48	8.61	8.75
12:40	37.4	43.8	39.4	44.4	11.4	801	9.10	9.15	9.32	9.32
12:50	36.9	39.5	39.1	41.9	10.9	765	8.34	8.81	8.95	8.99
13:00	37.3	39.8	39.5	42.6	10.3	723	7.98	8.10	8.41	8.30
13:10	39.7	43.5	42.1	45.4	2.4	169	2.04	2.07	2.03	2.01
13:20	40.7	41.2	41.9	41.7	2.0	140	1.89	1.65	1.72	1.55
13:30	34.2	30.4	34.7	34.4	2.6	183	2.58	2.34	2.47	2.17
13:40	31.2	26.9	29.7	32.6	3.5	246	3.26	3.07	3.19	3.06
13:50	31.1	29.8	30.6	34.5	10.5	737	8.59	8.65	8.79	8.69

02.05.2019

Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
09:10	23.7	22.2	22.4	22.3	5.4	379	4.63	4.39	4.78	4.29
09:20	25.2	26.5	24.9	27.2	6.1	428	5.30	5.04	5.31	4.91
09:30	26.6	28.5	26.1	29.4	6.5	456	5.55	5.22	5.61	5.18
09:40	27.1	28.5	26.6	30.5	7.3	513	6.17	6.07	6.35	5.98
09:50	28.2	29.9	27.5	31.9	8.0	562	6.84	6.43	6.86	6.42
10:00	29.2	30.6	29.1	33.2	8.3	583	6.94	6.67	7.11	6.60
10:10	30.6	33.1	31.4	35.5	8.6	604	7.12	7.01	7.40	6.86
10:20	31.4	34.4	32.7	36.3	9.1	639	7.51	7.29	7.81	7.31
10:30	32.4	35.2	33.4	38.2	9.5	667	7.87	7.81	8.12	7.55
10:40	33.1	35.1	34.4	39.0	9.9	695	8.23	7.99	8.44	7.98
10:50	33.4	36.0	34.2	39.0	10.7	751	8.71	8.46	8.70	8.36
11:00	33.5	34.6	32.9	38.4	11.5	808	9.17	9.02	9.38	9.07
11:10	34.2	36.1	34.3	39.5	11.6	815	9.22	9.12	9.39	9.24
11:20	34.2	35.5	33.0	40.0	11.8	829	9.33	9.15	9.52	9.23
11:30	36.0	37.9	36.0	41.8	12.2	857	9.59	9.35	9.84	9.21
11:40	37.9	40.1	36.1	42.4	12.6	885	9.82	9.87	10.17	9.56
11:50	37.5	40.4	37.2	42.9	12.9	906	10.21	10.19	10.45	9.91
12:00	36.8	37.4	36.3	42.7	13.5	948	10.37	10.43	10.68	10.13
12:10	36.3	38.1	35.8	42.6	13.7	962	10.69	10.59	10.99	10.33
12:20	38.0	39.6	37.7	44.4	14.0	983	10.82	10.87	11.12	10.55
12:30	37.7	39.1	37.2	44.2	14.1	990	10.77	10.88	11.08	10.56
12:40	37.3	38.0	37.0	44.0	14.3	1,004	11.05	11.07	11.36	10.84
12:50	36.9	38.3	36.5	43.8	14.3	1,004	10.99	11.07	11.23	10.93

13:00	37.3	39.5	36.9	44.4	14.5	1,018	11.05	11.19	11.40	11.01
13:10	38.4	40.3	38.0	45.3	14.5	1,018	11.16	11.15	11.33	11.06
13:20	38.1	38.9	37.7	45.0	14.5	1,018	10.89	11.03	11.31	11.03
13:30	39.3	41.5	38.8	45.9	14.4	1,011	10.81	11.03	11.14	11.01
13:40	39.8	41.7	39.5	46.4	14.4	1,011	10.81	10.95	11.13	10.93
13:50	40.6	42.1	40.7	47.5	14.5	1,018	10.93	11.11	11.28	10.93
14:00	40.9	41.5	41.1	47.6	14.4	1,011	10.85	11.07	11.26	11.10
14:10	40.0	40.3	40.0	47.2	14.4	1,011	10.92	11.00	11.09	10.97
14:20	39.7	39.9	39.6	47.1	14.4	1,011	10.93	11.10	11.30	10.93
14:30	39.0	38.6	38.3	46.2	14.2	997	10.72	10.84	11.09	10.89
14:40	38.8	40.2	37.9	45.4	14.2	997	10.85	10.96	11.08	10.93
14:50	38.6	39.2	37.7	45.3	14.0	983	10.53	10.79	10.96	10.73
15:00	38.3	38.3	37.4	44.9	13.8	969	10.49	10.66	10.92	10.53
15:10	37.4	37.1	36.7	44.1	13.7	962	10.49	10.67	10.88	10.52
15:20	36.9	36.6	36.2	43.6	13.5	948	10.37	10.47	10.72	10.44

03.05.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
09:10	20.0	22.0	20.6	21.1	4.7	330	4.23	4.14	4.28	4.07
09:20	23.7	28.2	25.2	28.6	5.2	365	4.72	4.64	4.93	4.56
09:30	26.5	31.4	27.9	32.6	6.0	421	5.32	5.27	5.62	5.22
09:40	28.7	32.6	28.7	34.0	6.3	442	5.55	5.51	5.82	5.52
09:50	29.5	34.2	29.8	36.2	6.9	485	5.98	5.91	6.33	5.91

10:00	31.0	36.1	31.0	38.3	7.7	541	6.62	6.56	6.89	6.61
10:10	32.7	37.8	31.8	39.9	8.1	569	6.89	6.88	7.19	6.91
10:20	34.9	41.4	33.3	41.7	8.6	604	7.37	7.32	7.65	7.41
10:30	36.0	41.7	36.6	42.0	9.1	639	7.56	7.56	7.89	7.63
10:40	38.5	43.5	39.4	43.7	9.4	660	7.66	7.71	7.95	7.78
10:50	38.9	42.6	40.2	43.5	10.0	702	8.11	8.11	8.26	8.25
11:00	41.0	44.9	42.5	46.0	10.5	737	8.42	8.41	8.63	8.59
11:10	43.1	46.4	44.0	46.6	10.9	765	8.93	8.94	8.98	8.93
11:20	44.7	47.7	44.9	47.4	11.1	779	8.97	8.92	9.05	9.12
11:30	45.1	47.4	44.8	48.5	11.6	815	9.37	9.29	9.38	9.32
11:40	45.6	48.1	45.8	50.1	11.9	836	9.53	9.29	9.49	9.51
11:50	45.9	49.2	46.5	51.6	12.3	864	9.85	9.76	9.83	9.67
12:00	44.7	47.9	45.7	50.9	12.5	878	9.87	9.80	9.87	9.73
12:10	45.7	48.8	46.5	52.3	13.0	913	10.17	10.24	10.25	10.10
12:20	45.6	49.9	46.8	52.5	13.1	920	10.26	10.16	10.25	10.18
12:30	46.0	49.8	47.3	53.3	13.2	927	10.28	10.26	10.33	10.29
12:40	46.8	50.7	48.0	54.5	13.4	941	10.38	10.34	10.42	10.18
12:50	47.0	50.4	47.8	54.5	13.6	955	10.58	10.54	10.49	10.36
13:00	47.1	50.5	47.7	54.4	13.7	962	10.61	10.56	10.71	10.50
13:10	48.0	50.7	47.0	53.7	13.9	976	10.65	10.73	10.72	10.51
13:20	48.1	50.9	47.3	54.5	13.9	976	10.70	10.65	10.75	10.50
13:30	48.0	51.1	47.8	55.8	14.0	983	10.69	10.74	10.76	10.56
13:40	48.0	51.5	47.5	54.3	13.9	976	10.65	10.62	10.75	10.61
13:50	49.0	52.6	47.7	55.2	13.9	976	10.74	10.69	10.72	10.47
14:00	47.0	50.2	47.3	54.2	13.8	969	10.59	10.54	10.67	10.55
14:10	46.0	50.2	47.1	54.1	13.8	969	10.68	10.70	10.60	10.47
14:20	45.9	51.2	48.5	55.6	13.7	962	10.46	10.42	10.39	10.33
14:30	46.7	51.5	49.4	56.6	13.6	955	10.42	10.34	10.43	10.26
14:40	47.1	51.5	48.6	55.6	13.5	948	10.33	10.31	10.37	10.21

14:50	47.0	51.1	48.0	55.0	13.4	941	10.24	10.14	10.22	10.13
15:00	46.7	50.0	47.5	54.6	13.0	913	9.99	9.96	10.07	9.83
15:10	46.6	51.0	47.5	54.2	12.7	892	9.77	9.61	9.72	9.67
15:20	45.7	49.2	46.9	53.2	12.3	864	9.60	9.49	9.57	9.56
15:30	44.7	47.6	45.6	52.1	12.1	850	9.52	9.31	9.39	9.42
15:40	43.6	47.3	44.6	50.6	12.0	843	9.50	9.28	9.37	9.26
15:50	43.2	46.8	44.1	50.3	11.6	815	9.14	9.02	9.10	9.00
16:00	42.8	46.1	43.8	49.7	11.3	794	9.05	8.78	8.88	8.85
16:10	43.5	46.4	43.7	50.3	4.8	337	4.51	4.27	4.08	3.94
16:20	38.0	37.2	37.5	40.9	11.3	794	9.46	9.25	9.37	9.46
16:30	39.9	43.5	39.0	44.5	10.9	765	9.14	8.88	8.95	8.89
16:40	40.2	42.5	39.1	45.4	9.9	695	8.02	7.67	7.87	7.85

13.05.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
08:30	19.4	19.1	19.2	19.9	3.1	218	2.72	2.62	2.83	2.39
08:40	21.6	24.3	22.7	24.5	3.5	246	3.27	3.07	3.22	2.94
08:50	23.3	26.4	24.7	27.0	4.0	281	3.62	3.40	3.80	3.47
09:00	25.0	27.9	26.0	29.1	4.1	288	4.25	3.97	4.29	3.99
09:10	26.3	29.4	27.3	30.8	4.9	344	4.39	4.31	4.63	4.18
09:20	28.0	32.7	28.9	33.6	5.2	365	4.67	4.56	4.78	4.41
09:30	29.7	35.5	30.2	35.8	5.8	407	5.18	4.93	5.23	4.91
09:40	31.6	39.0	31.5	38.6	6.2	435	5.44	5.27	5.31	5.05

09:50	31.6	36.7	31.5	38.6	6.7	471	5.86	5.75	5.87	5.69
10:00	31.1	34.3	31.0	37.4	7.7	541	6.62	6.55	6.68	6.48
10:10	31.6	35.3	31.7	38.0	8.1	569	6.96	6.88	7.10	6.77
10:20	32.4	37.4	33.3	39.4	9.6	674	8.05	7.76	8.03	7.70
10:30	32.8	37.7	34.5	40.5	9.9	695	8.13	7.97	8.35	8.01
10:40	34.0	39.7	35.8	41.0	10.0	702	8.20	8.03	8.39	8.08
10:50	36.3	42.3	37.5	42.7	10.3	723	8.43	8.12	8.46	8.29
11:00	39.7	46.4	40.8	44.8	4.5	316	3.43	3.24	3.39	3.32
11:10	40.5	44.4	41.0	44.5	5.2	365	4.18	3.99	4.11	3.88
11:20	39.2	41.7	39.5	41.2	5.4	379	4.40	4.19	4.36	4.37
11:30	40.8	44.0	40.8	43.3	14.3	1,004	11.21	11.05	11.37	11.16
11:40	41.5	43.0	40.9	44.1	14.4	1,011	11.17	11.11	11.30	11.20
11:50	43.5	47.8	42.7	48.3	13.8	969	10.65	10.59	10.52	10.53
12:00	47.2	52.4	46.8	51.0	14.9	1,046	11.39	11.57	11.60	11.40
12:10	48.9	52.0	48.2	50.1	4.2	295	3.46	3.19	3.14	3.06
12:20	49.0	50.2	47.6	50.0	14.5	1,018	11.28	11.09	11.31	11.03
12:30	46.3	46.5	45.3	49.6	14.6	1,025	11.66	11.46	11.54	11.30
12:40	45.6	48.6	44.8	50.9	3.3	232	2.67	2.47	2.43	2.29
12:50	46.1	46.8	45.2	51.2	13.4	941	10.65	10.40	10.68	10.34
13:00	42.5	41.2	41.6	46.0	13.3	934	10.57	10.24	10.38	10.14
13:10	43.0	45.3	42.0	49.1	13.5	948	10.54	10.32	10.44	10.30
13:20	46.8	50.2	45.3	52.9	13.4	941	10.40	10.08	10.25	10.08
13:30	48.2	50.8	45.7	54.0	13.5	948	10.49	10.23	10.28	10.17
13:40	49.1	51.7	46.9	55.2	13.8	969	10.56	10.40	10.52	10.37
13:50	50.5	52.5	48.9	57.1	14.3	1,004	11.03	10.81	10.94	10.89
14:00	52.0	53.3	50.6	57.9	14.8	1,039	10.98	11.01	10.90	10.86
14:10	52.0	53.6	50.6	58.4	14.0	983	11.35	11.43	11.31	11.28
14:20	51.2	53.3	50.1	58.9	13.9	976	11.03	11.31	11.38	11.03
14:30	48.0	48.1	47.3	52.7	13.8	969	11.35	11.40	11.49	11.34

14:40	46.0	48.0	45.0	52.1	5.4	379	4.14	4.26	3.90	3.69
14:50	47.4	48.4	46.5	51.7	11.0	772	8.91	8.95	9.24	8.40
15:00	42.8	41.3	42.4	44.9	12.0	843	9.57	9.72	9.87	9.45
15:10	45.3	48.8	44.9	51.0	11.0	772	8.77	8.68	9.24	8.55
15:20	45.7	49.3	44.8	52.0	4.1	288	4.17	3.90	3.85	3.39
15:30	41.9	41.8	40.9	45.4	5.0	351	4.51	4.26	4.77	4.30
15:40	40.2	42.5	39.1	45.3	11.0	772	10.28	10.15	10.29	9.94
15:50	40.0	43.0	39.0	45.2	11.0	772	10.17	9.99	10.14	9.94
16:00	40.8	44.2	39.8	46.5	9.8	688	9.07	9.14	9.31	8.81
16:10	39.3	42.8	38.4	44.9	10.7	751	8.71	8.65	9.01	8.53
16:20	38.9	41.6	37.9	43.4	9.8	688	8.06	8.11	8.09	7.44
16:30	38.6	41.2	36.9	42.4	9.9	695	8.10	8.20	8.34	8.24
16:40	34.1	35.4	32.8	37.5	6.0	421	5.22	5.43	5.78	5.54
16:50	33.4	35.5	32.3	37.7	6.7	471	5.91	6.02	6.09	5.73
17:00	33.1	34.9	31.9	36.9	6.3	442	5.45	5.26	5.54	5.30

18.06.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
07:30	25.3	26.7	26.2	26.2	1.1	77	0.47	0.31	0.46	0.47
07:40	26.4	28.1	27.5	27.9	1.2	84	0.64	0.33	0.61	0.52
07:50	27.6	29.2	28.1	29.2	1.3	91	0.62	0.54	0.51	0.79
08:00	28.5		28.8	30.6	1.4	98	0.95	0.80	0.97	0.85
08:10	29.0		29.4	31.8	1.8	126	1.31	1.10	1.34	1.19
08:20	30.4		30.3	33.2	2.5	176	1.64	1.60	1.82	1.61

08:30	31.1		31.1	34.3	2.8	197	2.12	2.00	2.16	1.75
08:40	32.1		32.5	35.5	3.2	225	2.51	2.29	2.51	2.25
08:50	33.2	36.8	35.4	36.7	3.9	274	2.96	2.88	3.09	2.87
09:00	34.7	38.8	38.1	38.1	4.2	295	3.10	3.19	3.25	3.22
09:10	37.7	40.3	40.4	39.4	4.8	337	3.71	3.91	3.47	3.75
09:20	38.9	42.4	41.7	39.9	5.4	379	3.98	4.11	4.24	4.18
09:30	40.8	43.4	43.5	41.4	5.6	393	4.38	4.27	4.49	4.38
09:40	43.7	45.5	44.2	41.7	6.5	456	4.91	4.92	5.24	5.05
09:50	44.7	45.8	45.5	43.1	6.8	478	5.25	5.22	5.42	5.26
10:00	46.0	47.8	46.9	45.2	7.2	506	5.52	5.51	5.84	5.63
10:10	47.7	49.0	48.2	49.0	8.0	562	6.14	6.12	6.34	6.16
10:20	48.7	48.7	48.6	50.9	8.5	597	6.43	6.49	6.78	6.53
10:30	49.2	48.7	48.7	52.1	8.9	625	6.73	6.79	7.15	6.77
10:40	49.8	49.6	48.8	53.0	9.3	653	7.04	6.91	7.14	7.11
10:50	50.7	51.3	50.0	54.2	9.8	688	7.41	7.14	7.60	7.41
11:00	51.7	51.3	51.0	54.9	9.9	695	7.38	7.34	7.65	7.50
11:10	52.5	53.5	51.5	56.1	10.1	709	7.56	7.29	7.68	7.65
11:20	51.2	53.1	51.8	56.5	10.5	737	7.86	7.74	7.97	7.87
11:30	53.0	54.1	52.8	57.4	10.8	758	7.92	7.91	8.10	8.08
11:40	53.5	54.3	53.1	58.0	11.0	772	8.12	7.81	8.32	8.11
11:50	53.2	54.3	53.2	58.2	11.3	794	8.30	8.04	8.53	8.34
12:00	53.7	54.9	53.9	59.0	11.7	822	8.58	8.18	8.66	8.56
12:10	53.4	54.1	53.8	59.1	12.1	850	8.86	8.48	9.05	8.77
12:20	53.1	54.2	53.4	58.7	12.2	857	9.00	8.52	9.23	8.99
12:30	53.2	56.4	54.1	59.3	12.3	864	9.04	8.75	9.20	8.96
12:40	53.4	55.6	54.2	59.6	12.5	878	9.11	8.94	9.23	9.00
12:50	53.9	57.0	54.7	60.1	12.7	892	9.19	9.10	9.43	9.25
13:00	53.7	56.0	54.4	60.1	12.8	899	9.26	9.18	9.34	9.20
13:10	54.0	55.6	54.1	60.1	12.9	906	9.37	9.16	9.50	9.28

13:20	55.4	58.3	55.9	61.5	13.0	913	9.41	9.19	9.50	9.23
13:30	55.7	57.8	56.0	61.4	13.0	913	9.41	9.24	9.55	9.37
13:40	55.3	55.3	53.9	60.0	13.0	913	9.37	9.30	9.64	9.36
13:50	53.9	56.3	53.8	59.5	13.0	913	9.45	9.33	9.61	9.47
14:00	53.6	55.6	53.5	59.3	13.0	913	9.37	9.15	9.61	9.35
14:10	53.0	54.1	52.4	58.5	12.8	899	9.34	8.96	9.50	9.29
14:20	52.7	54.2	52.9	59.0	12.9	906	9.19	9.01	9.46	9.37
14:30	51.8	54.3	53.7	59.7	13.0	913	9.30	9.03	9.38	9.18
14:40	51.1	54.0	52.3	58.5	12.8	899	9.04	8.69	9.35	8.89
14:50	51.2	53.2	51.7	57.5	12.8	899	9.03	8.66	9.24	8.84
15:00	50.4	52.5	51.4	56.9	12.2	857	8.99	8.63	9.21	8.86
15:10	50.9	52.7	51.3	57.0	11.9	836	9.06	8.47	9.06	8.64
15:20	50.7	52.8	51.0	56.8	11.5	808	8.33	8.13	8.69	8.33
15:30	51.3	53.7	51.7	57.2	11.4	801	8.49	8.03	8.62	8.28
15:40	51.6	53.2	51.8	57.3	11.3	794	8.30	8.09	8.52	8.14
15:50	52.2	52.9	52.2	57.6	10.7	751	7.76	7.73	8.14	7.80
16:00	52.1	52.6	52.0	57.2	10.5	737	7.71	7.90	7.99	7.66
16:10	51.6	52.3	51.4	56.3	10.2	716	7.37	7.23	7.73	7.29
16:20	51.8	52.6	51.1	56.1	10.0	702	7.15	7.01	7.46	7.16
16:30	51.7	52.5	51.4	56.0	9.9	695	6.93	6.52	7.15	6.79
16:40	51.6	51.9	50.3	54.7	9.6	674	6.55	6.50	6.98	6.53
16:50	51.0	51.1	49.3	53.1	9.1	639	6.17	6.24	6.63	6.17
17:00	51.6	51.3	48.3	52.0	8.6	604	5.93	6.08	6.42	5.86
17:10	48.8	48.3	47.1	51.6	8.3	583	5.81	5.74	6.13	5.71
17:20	47.8	47.2	46.5	50.6	7.5	527	5.18	5.18	5.40	5.23
17:30	47.1	45.3	45.3	48.7	8.0	562	5.07	4.95	5.57	5.15
17:40	44.0	44.5	44.1	47.8	7.8	548	4.90	4.70	5.28	4.95
17:50	42.6	43.2	43.0	45.8	6.5	456	4.02	3.83	4.46	4.20
18:00	42.5	43.0	42.6	45.2	5.7	400	3.74	3.74	4.14	3.80

20.06.2019

Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
07:30	26.0	26.3	26.3	26.0	1.1	77	0.34	0.31	0.47	0.38
07:40	26.7	27.1	26.9	26.9	1.2	84	0.59	0.32	0.51	0.48
07:50	27.5	27.8	27.5	27.8	1.3	91	0.65	0.59	0.71	0.67
08:00	28.3	28.8	28.0	28.8	1.4	98	1.02	0.84	0.88	0.98
08:10	29.2	30.2	28.6	30.2	1.7	119	1.37	1.11	1.25	1.17
08:20	30.3	31.1	29.2	31.4	2.2	154	1.36	1.53	1.70	1.55
08:30	31.2	32.0	30.1	32.7	2.6	183	2.04	1.88	2.11	1.89
08:40	32.0	33.8	31.0	34.0	3.0	211	2.37	2.09	2.48	2.22
08:50	32.9	35.3	32.3	35.4	3.5	246	2.67	2.51	2.82	2.66
09:00	34.0	36.4	34.9	36.6	4.1	288	3.26	2.97	3.38	2.97
09:10	35.7	38.5	37.9	38.0	4.4	309	3.45	3.33	3.63	3.48
09:20	38.1	39.9	39.8	39.0	5.2	365	4.07	3.98	4.21	4.13
09:30	43.4	41.4	41.2	40.2	5.7	400	4.52	4.31	4.69	4.55
09:40	42.0	42.0	42.8	41.3	6.1	428	4.72	4.62	4.82	4.80
09:50	44.0	44.0	44.0	42.2	6.5	456	5.21	4.86	5.29	5.32
10:00	44.5	44.9	44.7	42.8	7.1	499	5.61	5.06	5.66	5.63
10:10	44.7	43.0	45.3	43.7	7.7	541	6.02	5.54	6.15	6.01
10:20	44.9	45.3	45.8	46.4	8.5	597	6.53	6.50	6.76	6.54
10:30	45.1	46.3	46.3	48.4	8.8	618	6.80	6.55	6.87	6.82
10:40	45.7	46.6	46.8	49.5	9.0	632	6.94	6.84	7.11	7.00
10:50	45.2	46.1	47.6	50.9	9.3	653	7.16	6.98	7.33	7.03

11:00	47.0	48.7	49.0	52.5	9.6	674	7.34	7.07	7.45	7.33
11:10	48.2	47.6	48.9	53.2	10.2	716	7.71	7.54	7.96	7.73
11:20	48.3	47.6	49.4	54.0	10.5	737	7.96	7.82	8.11	7.84
11:30	49.0	49.5	49.5	54.1	10.7	751	8.05	7.73	8.21	8.00
11:40	49.9	49.8	50.4	54.9	10.9	765	8.12	7.87	8.35	8.14
11:50	49.4	47.3	48.9	53.8	11.4	801	8.60	8.28	8.81	8.50
12:00	49.2	48.7	48.4	53.7	11.6	815	8.64	8.47	8.94	8.66
12:10	49.3	49.7	48.6	53.9	11.8	829	8.93	8.52	9.02	8.84
12:20	50.0	52.1	50.0	55.4	12.1	850	8.93	8.78	9.31	8.94
12:30	50.4	50.9	50.1	55.6	12.3	864	9.13	8.78	9.27	9.05
12:40	51.2	53.2	51.3	56.8	12.4	871	9.11	8.74	9.39	9.02
12:50	51.7	51.7	52.4	57.9	12.6	885	9.15	8.88	9.54	9.00
13:00	52.2	52.5	52.8	58.2	12.7	892	9.19	8.94	9.46	9.13
13:10	52.4	53.3	53.7	59.0	12.7	892	9.34	8.94	9.49	9.13
13:20	52.1	52.2	52.5	57.9	12.8	899	9.45	8.98	9.64	9.31
13:30	52.7	52.6	52.7	58.4	12.8	899	9.37	8.88	9.57	9.19
13:40	53.1	53.8	53.6	59.4	12.9	906	9.37	9.07	9.59	9.26
13:50	53.2	52.4	53.6	59.2	12.8	899	9.37	9.11	9.53	9.13
14:00	54.1	55.1	53.5	58.7	12.8	899	9.34	8.98	9.54	9.10
14:10	55.2	54.9	53.2	58.6	12.8	899	9.34	9.04	9.49	9.14
14:20	55.7	55.9	53.3	59.2	12.7	892	9.26	8.84	9.50	9.06
14:30	54.2	53.6	54.2	60.5	12.9	906	9.26	8.84	9.45	8.94
14:40	54.5	53.3	53.9	60.0	12.7	892	9.08	8.74	9.35	8.90
14:50	53.6	53.1	52.8	58.6	12.6	885	8.96	8.60	9.16	8.65
15:00	52.8	52.9	52.6	58.4	12.0	843	8.89	8.42	9.02	8.66
15:10	52.7	53.3	52.4	58.2	11.7	822	8.70	8.38	8.84	8.53
15:20	52.1	52.7	52.0	57.3	11.5	808	8.50	8.16	8.70	8.40
15:30	52.0	52.2	51.9	57.1	11.3	794	8.27	7.99	8.62	8.35
15:40	51.9	51.9	51.6	56.6	11.1	779	8.23	7.90	8.42	8.08

15:50	52.0	52.0	51.7	56.6	10.7	751	7.89	7.68	8.13	7.93
16:00	51.8	51.0	51.1	55.8	10.3	723	7.68	7.37	7.89	7.64
16:10	51.6	50.7	51.0	55.9	10.0	702	7.49	7.29	7.69	7.42
16:20	50.7	50.3	50.3	54.9	9.7	681	6.93	6.73	7.22	6.89
16:30	51.0	50.5	50.0	53.8	9.3	653	6.83	6.66	7.00	6.68
16:40	50.1	49.2	49.5	53.5	9.1	639	6.50	6.48	6.76	6.55
16:50	50.8	49.6	48.8	51.8	9.0	632	6.27	6.17	6.48	6.20
17:00	49.1	48.6	48.6	52.3	8.7	611	6.05	5.89	6.19	5.99
17:10	50.0	47.5	47.0	50.2	8.5	597	5.88	5.79	6.10	5.84
17:20	48.8	47.4	46.3	49.8	8.1	569	5.59	5.57	5.79	5.68
17:30	48.4	45.3	45.5	48.6	7.6	534	5.19	5.19	5.40	5.17
17:40	47.1	45.0	44.7	47.5	7.1	499	4.95	4.86	5.11	4.89

25.06.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
07:30	26.6	27.2	27.7	27.2	1.1	77	0.34	0.46	0.60	0.63
07:40	27.6	27.9	28.4	28.3	1.2	84	0.65	0.58	0.78	0.70
07:50	28.2	28.9	28.7	29.2	1.3	91	0.94	0.84	0.95	0.97
08:00	29.1	29.8	29.1	30.4	1.4	98	1.34	1.16	1.27	1.15
08:10	29.9	31.3	29.8	31.5	1.9	133	1.60	1.57	1.55	1.40
08:20	30.9	32.7	30.8	32.9	2.2	154	2.08	1.94	2.18	1.84
08:30	31.9	34.1	32.0	34.3	2.9	204	2.48	2.37	2.49	2.44
08:40	32.8	35.3	34.0	35.3	3.4	239	2.96	2.85	2.90	2.71

08:50	33.8	36.9	36.0	36.7	3.6	253	3.16	2.94	3.27	3.06
09:00	35.0	38.5	37.7	37.9	4.1	288	3.57	3.36	3.62	3.52
09:10	36.9	39.7	39.2	39.0	4.6	323	4.01	3.74	4.09	3.95
09:20	39.0	41.2	40.3	39.6	5.5	386	4.57	4.49	4.72	4.41
09:30	41.0	42.6	41.5	40.4	5.6	393	4.70	4.61	4.63	4.73
09:40	42.2	43.5	42.7	41.2	6.0	421	5.05	4.95	5.10	4.93
09:50	43.8	45.4	44.3	42.5	6.7	471	5.50	5.45	5.59	5.54
10:00	45.4	47.2	45.8	43.9	7.3	513	5.84	5.82	6.10	5.93
10:10	47.4	49.6	47.6	47.7	7.9	555	6.26	6.12	6.44	6.22
10:20	45.6	46.5	47.5	49.7	8.1	569	6.50	6.34	6.65	6.43
10:30	46.2	48.1	47.2	50.2	8.4	590	6.66	6.59	6.63	6.68
10:40	47.6	49.7	48.4	52.1	8.9	625	7.02	6.83	7.02	7.08
10:50	48.1	50.3	48.8	52.6	9.2	646	7.19	7.03	7.10	7.11
11:00	48.4	50.5	48.9	53.2	9.7	681	7.50	7.45	7.53	7.56
11:10	48.3	50.7	49.3	53.7	10.0	702	7.67	7.58	7.68	7.70
11:20	49.0	51.8	49.9	54.2	10.3	723	7.82	7.64	7.74	7.83
11:30	49.7	51.2	49.9	54.6	10.6	744	7.95	7.77	7.94	7.82
11:40	49.2	51.0	49.0	54.3	11.0	772	8.21	8.16	8.24	8.15
11:50	49.5	53.0	50.5	55.5	11.5	808	8.53	8.33	8.51	8.53
12:00	50.8	54.1	51.7	56.8	11.6	815	8.60	8.43	8.61	8.49
12:10	50.9	53.2	51.2	56.5	11.8	829	8.72	8.52	8.80	8.67
12:20	51.3	53.9	51.5	56.9	12.2	857	8.81	8.77	8.98	8.82
12:30	52.5	54.3	51.6	57.1	12.3	864	8.96	8.63	8.94	8.93
12:40	52.3	53.8	50.9	57.0	12.3	864	9.03	8.69	9.11	9.00
12:50	52.7	54.6	51.9	58.1	12.7	892	9.26	9.07	9.25	9.15
13:00	52.2	54.5	52.0	58.6	12.7	892	9.14	8.99	9.23	9.08
13:10	52.4	54.4	51.8	57.9	12.8	899	9.26	9.02	9.30	9.18
13:20	52.3	55.1	52.3	58.2	12.8	899	9.26	9.22	9.25	9.19
13:30	51.8	54.5	51.9	58.1	12.9	906	9.30	9.18	9.37	9.22

13:40	51.8	55.1	52.2	58.4	13.1	920	9.40	9.18	9.44	9.31
13:50	52.0	55.0	52.6	58.6	12.9	906	9.30	9.11	9.34	9.22
14:00	52.3	55.5	52.8	58.8	12.8	899	9.15	8.99	9.34	9.10
14:10	52.6	54.9	52.7	58.8	12.6	885	8.93	8.89	9.11	8.93
14:20	52.6	55.5	52.9	58.9	12.7	892	9.07	8.96	9.10	8.85
14:30	52.1	54.3	51.7	58.0	12.9	906	9.03	8.93	9.16	8.97
14:40	51.6	54.4	51.7	57.8	12.6	885	8.93	8.72	8.98	8.86
14:50	51.2	54.0	51.9	57.6	12.5	878	8.73	8.59	8.76	8.68
15:00	50.8	53.3	51.4	56.9	12.0	843	8.62	8.47	8.65	8.57
15:10	51.3	54.1	51.7	56.8	11.8	829	8.50	8.37	8.61	8.40
15:20	52.2	54.6	52.0	56.7	11.5	808	8.35	8.10	8.26	8.27
15:30	52.0	53.7	51.7	57.0	11.1	779	7.99	7.88	8.09	7.95
15:40	51.8	53.3	51.4	56.2	11.3	794	7.65	7.65	7.75	7.58
15:50	51.0	53.5	50.0	54.9	10.9	765	7.56	7.38	7.70	7.59
16:00	50.6	53.5	49.8	54.7	10.7	751	7.44	7.23	7.38	7.38
16:10	49.3	52.9	49.5	54.2	10.3	723	6.99	6.92	7.15	7.13
16:20	48.7	52.5	49.3	53.9	10.1	709	7.19	6.75	6.98	7.01
16:30	48.2	52.4	48.7	53.3	9.9	695	6.86	6.83	6.95	6.91
16:40	47.9	51.2	47.7	52.5	9.7	681	6.76	6.73	6.97	6.72
16:50	48.2	51.0	47.6	52.3	9.3	653	6.35	6.31	6.50	6.48
17:00	48.3	50.6	47.5	52.1	8.6	604	5.92	5.82	6.23	5.99
17:10	47.7	49.0	46.7	51.1	8.3	583	5.75	5.64	5.99	5.75
17:20	46.7	48.0	45.5	49.5	7.9	555	5.34	5.53	5.79	5.55
17:30	44.9	44.4	43.2	46.7	7.6	534	5.29	5.30	5.50	5.06
17:40	44.8	45.3	42.6	45.7	7.2	506	4.89	5.04	5.23	5.05
17:50	44.9	45.3	42.1	45.0	6.9	485	4.76	4.84	4.91	4.82

01.07.2019										
Χρονική στιγμή	Θερμοκρασία (°C)				Ένδειξη πολυμέτρου	Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη Ισχύς (W)			
	PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35			PV PCM 31	PV ref	PV PCM 27	PV PCM 35
10:10	28.5	34.0	29.3	32.4	8.0	562	6.46	6.33	6.57	6.34
10:20	32.7	41.7	33.2	39.1	8.1	569	6.53	6.40	6.54	6.36
10:30	35.5	42.3	36.4	40.6	9.4	660	7.21	7.09	7.32	7.01
10:40	38.6	44.1	40.4	42.2	9.7	681	7.70	7.50	7.67	7.63
10:50	41.1	45.0	42.3	43.2	9.6	674	7.44	7.33	7.56	7.37
11:00	43.9	44.5	42.8	43.6	9.6	674	7.77	7.72	7.90	7.75
11:10	43.3	42.7	41.3	43.0	10.7	751	8.02	8.00	8.23	7.99
11:20	43.5	44.7	42.0	44.2	10.5	737	8.17	8.13	8.25	8.07
11:30	43.2	44.1	42.2	43.3	11.8	829	8.33	8.32	8.43	8.27
11:40	43.8	45.7	42.7	46.5	11.7	822	8.98	8.96	9.00	8.76
11:50	45.0	47.2	44.0	49.3	11.6	815	8.88	8.88	9.02	8.70
12:00	45.8	47.8	44.7	50.2	11.9	836	8.97	9.08	9.18	8.89
12:10	45.0	47.0	44.6	50.4	12.1	850	9.17	9.24	9.33	8.96
12:20	46.4	49.4	46.5	52.2	12.2	857	9.22	9.39	9.43	9.07
12:30	47.4	49.3	46.7	52.4	12.4	871	9.41	9.46	9.49	9.18
12:40	47.0	49.0	46.9	52.6	12.6	885	9.45	9.47	9.50	9.34
12:50	47.7	51.3	47.7	53.4	12.7	892	9.49	9.57	9.66	9.34
13:00	47.4	49.7	46.9	52.9	12.9	906	9.68	9.76	9.92	9.48
13:10	47.2	49.7	46.2	52.5	13.0	913	9.75	9.84	9.85	9.56
13:20	47.5	50.1	47.1	53.4	13.0	913	9.75	9.85	9.92	9.45
13:30	48.2	52.1	47.9	54.2	13.2	927	9.79	9.89	9.98	9.58

13:40	48.3	50.2	47.8	54.2	13.2	927	9.82	9.90	9.95	9.55
13:50	48.1	50.3	47.6	54.1	13.2	927	9.77	9.93	9.95	9.67
14:00	46.6	49.8	46.3	52.4	13.2	927	9.98	9.96	10.03	9.64
14:10	46.5	48.6	46.1	52.4	13.2	927	9.95	9.97	10.07	9.70
14:20	46.3	49.0	46.0	52.1	13.4	941	9.83	9.85	9.96	9.56
14:30	46.5	48.8	46.1	51.9	13.6	955	9.83	9.85	9.99	9.60
14:40	45.7	48.4	45.7	51.2	13.4	941	9.79	9.77	9.92	9.59
14:50	46.8	50.7	46.3	52.1	13.4	941	9.67	9.70	9.85	9.45
15:00					13.4	941	9.64	9.70	9.77	9.44