
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΟΜΑΤΑΚΗΣ ΦΩΤΗΣ

**ΘΕΜΑ : ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΤΟΥ

ΝΤΟΥΡΜΙΣΙ ΑΓΚΛΙ

A.M. 5736

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και κατασκευή ενός συστήματος ψύξης για φωτοβολταϊκά πλαίσια το οποίο θα μείωση την θερμοκρασία λειτουργίας και παράλληλα θα επιτύχει αύξηση στην απόδοση του πλαισίου.

Η κατασκευή έγινε με απλά εμπορικά διαθέσιμα υλικά όπως είναι ο χαλκός με σκοπό το κόστος κατασκευής του να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο και προσιτό.

Η πτυχιακή εργασία που ακολουθεί περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα βήματα που πραγματοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της ειδικής κατασκευής. Ξεκινώντας από την διαστασιολόγηση του συστήματος με data από το φωτοβολταϊκό πάρκο του Τ.Ε.Ι Ηρακλείου και καταλήγοντας στην αναλυτική διαδικασία βήμα -βήμα της κατασκευής του συστήματος ψύξης.

ABSTRACT

The subject of this dissertation is the study and also the construction of a cooling system for Photovoltaic panels which will reduce the operating temperature and at the same time will achieve an increase in the performance of the frame.

The construction was made by simple and available trade materials such as copper, in order to keep the construction's cost low and accessible.

The following dissertation includes all the necessary steps in order to complete this construction. Beginning with the dimensioning of the system by using data from the Photovoltaic Park at TEI of Herakleio and ending up to the analytical procedure of the cooling system's construction.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που με βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Μαυροματάκη Φώτη για την στήριξη που μου προσέφερε. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω της ευχαριστίες μου στον κ. Σαββάκη Νικόλαο για την πολύτιμη καθοδήγηση, βοήθεια και στήριξη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους που ήταν δίπλα μου στα εύκολα και στα δύσκολα, αλλά ένα μεγάλο και ιδιαίτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη και την συμπαράσταση όλα αυτά τα χρονιά.

Άγκλι Ντουρμίσι

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη	1
2. Abstract	2
3. Ευχαριστίες	3
4. Εισαγωγή	6
4.1. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	6
4.1.1. Ηλιακή Ενέργεια	6
4.1.2. Ηλιακή Ακτινοβολία	7
4.2. Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο	8
4.2.1. Δομή ΦΒ Στοιχείου	8
4.2.2. Είδη ΦΒ Στοιχείων	9
4.2.3. Δομή ΦΒ πλαισίου	10
4.3. Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά (I – V)	11
4.3.1. Γενικά	11
4.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την καμπύλη I – V	11
4.4. Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου	12
4.4.1. Παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης	12
5. Επιστημονική Μελέτη Στο Αντικείμενο	15
6. Μεθοδολογία	19
6.1. Υπολογισμοί	19
6.1.1. Απορροφούμενη ισχύς από το ΦΒ πλαίσιο	19
6.1.2. Συναλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ ουρανού, εδάφους και ΦΒ πλαισίου	20
6.1.3. Απώλειες ενέργειας με συναγωγή	23
6.1.4. Ενεργειακό ισοζύγιο	25
6.1.5. Σύστημα ψύξης	27
6.1.6. Υπολογισμός Σωληνώσεων	28
6.2. Φωτοβολταϊκό Πάνελ	29
6.3. Υλικά	31
6.3.1. Υλικά κατασκευής	31
6.3.2. Εργαλεία και εξαρτήματα	33
6.4. Σταδία	38
6.4.1. Κατασκευή	38
6.4.2. Διάταξη συστήματος	41
7. Αποτελέσματα	43

7.1.1. Πειραματική αξιολόγηση	43
7.1.2. Θερμική αποτίμηση	44
7.1.3. Θερμοκρασία	46
7.1.4. Καμπύλες (I – V) και (P – V)	50
7.1.5. Συμπεράσματα	62
8. Συζήτηση – Συμπεράσματα	64
9. Προτάσεις Συνέχισης Της Μελέτης	65
10. Βιβλιογραφία	66

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Ηλιακή Ενέργεια

Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας καθώς κάθε οργανισμός εξαρτάται από αυτόν για την δημιουργία ζωής, εξαιτίας του δημιουργούνται άνεμοι, η αποθηκευμένη χημική ενέργεια που βρίσκεται σε ξυλά και ορυκτά καύσιμα παράγεται από αυτόν και επομένως σχεδόν όλη η ενέργεια που χρησιμοποιούμε πηγάζει εξαιτίας του. Ο ήλιος είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους όπου, εξαιτίας των μερικών εκατομμυρίων °C που επικρατούν στην επιφάνεια του, τα μόρια και άτομα των στοιχείων που τον συνθέτουν βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε. Η γη απορροφά το ένα δισεκατομμυριοστό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, αν αναλογιστούμε όμως ότι η συνολικά αποθηκευμένη ενέργεια όλων των καυσίμων του πλανήτη αντιστοιχεί με την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη σε μία εβδομάδα καταλαβαίνουμε ότι είναι μια τεραστία ενεργειακή ποσότητα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δυο τρόπους: με θερμικές και με φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας με στόχο την παραγωγή θερμότητας (κυρίως χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού και την μετατροπή του σε ατμό για την χρήση του στην κίνηση τουρμπίνων), όσον αφορά την δεύτερη εφαρμογή είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη βοήθεια κυψελών ή συστοιχιών. Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε και χρησιμοποιήθηκε αρχικά στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ το 1970 και μείωσε το κόστος παράγωγης ηλεκτρισμού από τα 300\$ στα 4\$ το Watt. Η εφαρμογή για τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκεται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές λόγω της πολύ ακριβής σύνδεσης με το δίκτυο.

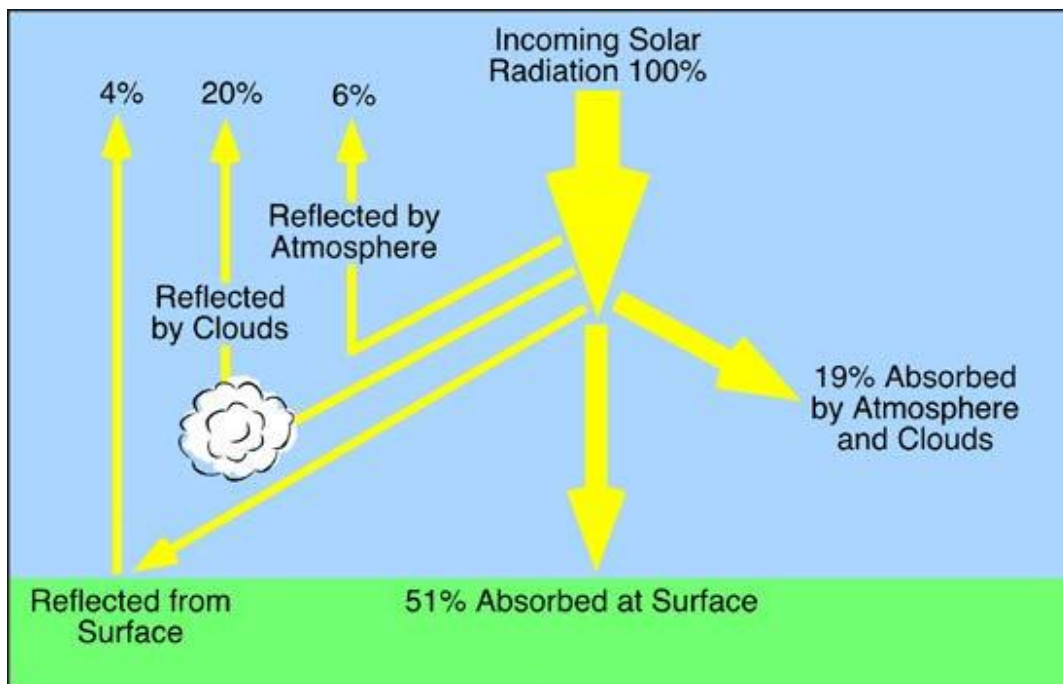
Υποθέτουμε ότι ο ήλιος είναι μια τέλεια πηγή ακτινοβολίας που η θερμοκρασία του αγγίζει τους 5.800 K. Η ηλιακή σταθερά που προκύπτει από την προσπίπτουσα κατά μέσο όρο ροή ενέργειας σε μια επιφάνεια έξω από την ατμόσφαιρα της γης είναι $S=1367 \text{ W/m}^2$. Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης μειώνεται αισθητά λόγω της ανάκλασης, απορρόφησης (από το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, από τους υδρατμούς και το όζον) και σκέδασης (από τη σκόνη, τους ρύπους και τα μόρια του αέρα). Με το άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας για ένα έτος μας προκύπτει η ηλιακή ενέργεια του έτους που είναι kWh/m^2 . Ανάλογος την γεωγραφική θέση που βρισκόμαστε η τιμή διαφέρει σημαντικά.

Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητα που θα φτάσει στην επιφάνεια της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος για παράδειγμα σε σχέση με άλλες περιοχές δέχεται

περίπου το διπλάσιο πόσο ηλιακής ενέργειας. Στην Ελλάδα η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο και να κυμαίνεται από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στη νότια Κρήτη και στη Ρόδο και ξεπερνούν τις 3100 ώρες το χρόνο.

Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη Γη. Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1700 kWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Το φως του ήλιου που φθάνει στην επιφάνεια της γης, συνίσταται από ένα μέρος άμεσης ακτινοβολίας και ένα μέρος έμμεσης ή διάχυτης. Το 51% της ακτινοβολίας απορροφάται άμεσα από το έδαφος, το 19% απορροφάται από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα ενώ το υπόλοιπο 30% ανακλάται στην επιφάνεια της γης, τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα. Η συνιστώσα της άμεσης ακτινοβολίας εξαρτάται από την κατεύθυνση του ήλιου, ενώ η διάχυτη δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση καθώς σκεδάζεται από τον ουράνιο θόλο.



Εικόνα 01: Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας όταν εισέρχεται στην γη.

Ανάλογα με τις συνθήκες συννεφιάς και την ώρα της ημέρας η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία διαφέρουν σημαντικά. Τις συννεφιασμένες μέρες η συνολική ακτινοβολία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της διάχυτης. Αντίθετα τις αίθριες

ημέρες, η άμεση ακτινοβολία είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την γη γίνεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές. Ο ισημερινός και οι περιοχές που βρίσκονται κοντά του λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από οποιοσδήποτε άλλες. Η διαφοροποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τις εποχές, την ώρα, το κλίμα και την ρύπανση της ατμοσφαιράς.

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Δομή ΦΒ Στοιχείου

Κατασκευαστικά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμά τους μεταλλικά ελάσματα και αυτό για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, ενώ για λόγους προστασίας είναι υδατοστεγής και αεροστεγώς σφραγισμένα σε ειδικό γυαλί και μονωτικό πλαστικό.

Η δομή για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι : 1) Μεταλλική βάση, 2) Πυρίτιο τύπου P, 3) Πυρίτιο τύπου N, 4) Μη ανακλαστικό στρώμα, 5) Μεταλλικά αγωγίμα ελάσματα.



Εικόνα 02: Δομή ΦΒ στοιχείου.

Τα οριζόντια ελάσματα όπως φαίνεται είναι περισσότερα σε σχέση με τα κάθετα και είναι αυτά τα στοιχεία που συγκεντρώνουν τα ηλεκτρόνια που διεγείρονται και αποτελούν το ρεύμα. Τα κάθετα παχιά ελάσματα ονομάζονται ζυγοί και είναι τα σημεία που διοχετεύονται τα ηλεκτρόνια. Οι ζυγοί από κάθε στοιχείο ενώνονται μεταξύ τους και έτσι τα πολλά συνδεδεμένα στοιχεία μεταξύ τους δημιουργούν το πλαίσιο. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από δύο ακροδέκτες τον αρνητικό και τον θετικό πόλο.

Είδη ΦΒ Στοιχείων

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τη δομή του βασικού υλικού αλλά και τον τρόπο κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε δύο κυρίως κατηγορίες.

- **ΦΒ στοιχεία πυριτίου μεγάλου πάχους**

1) Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

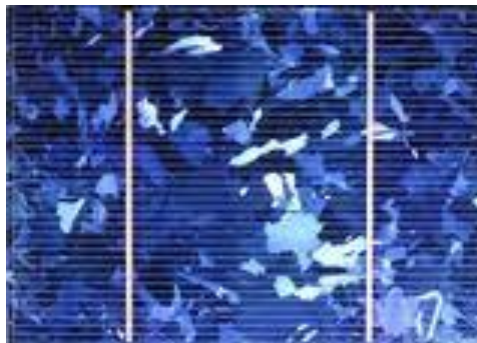
Το πάχος τους είναι περίπου στα 0.3mm. Η απόδοση τους σε πραγματικές συνθήκες κυμαίνεται από 15% - 18%. Στα πλεονεκτήματά τους είναι η καλύτερη σχέση απόδοσης. Ενώ στα μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής.



Εικόνα 03: Στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

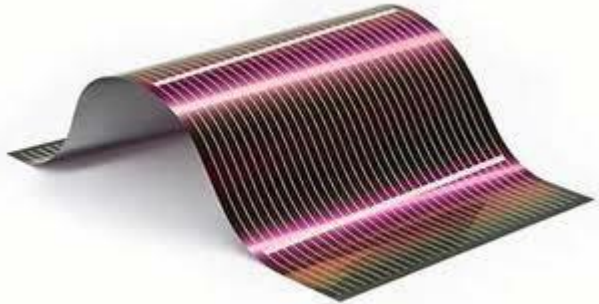
2) Πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι περίπου 0.3mm. Η απόδοση τους σε πραγματικές συνθήκες κυμαίνεται από 13% - 15%. Η παραγωγή τους κοστίζει φθηνότερα σε σχέση με των μονοκρυσταλλικών και αυτός είναι ο λόγος που και η τιμή πώλησής τους είναι συνήθως χαμηλότερη.



Εικόνα 04: Στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

- **ΦΒ υλικά λεπτών υμενίων**



Εικόνα 05: ΦΒ στοιχείο λεπτού υμενίου

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα του φωτός αλλά και αρκετά χαμηλή απόδοση που κυμαίνεται στο 11%.

2) Άμορφου πυριτίου

Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την τοποθέτηση του πυριτίου πάνω σε υπόστρωμα χαμηλού κόστους όπως είναι το αλουμίνιο ή το γυαλί. Η επίδοση του κυμαίνεται στο 6 – 8 %.

3) Αρσενικούχο Γάλλιο

Το αρσενικό έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες ενώ το γάλλιο είναι πιο σπάνιο και από τον χρυσό. Το θετικό είναι η απόδοση του που αγγίζει το 29%.

4) Τελουριούχο Κάδμιο

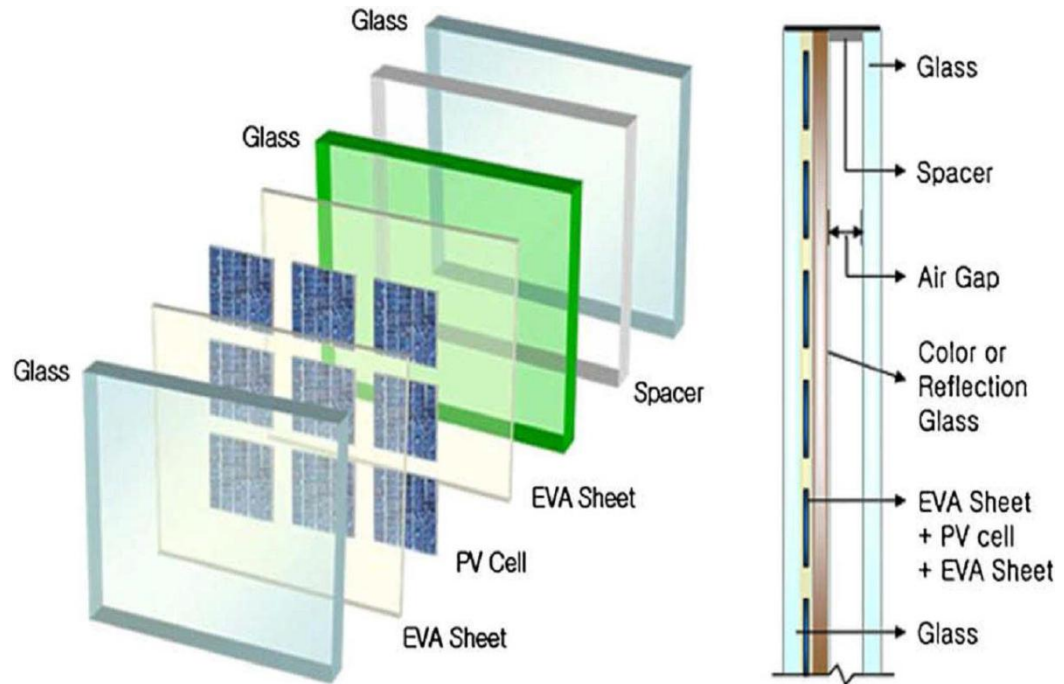
Ένα από τα πολύ σοβαρά πλεονεκτήματα που έχει το τελουριούχο κάδμιο είναι η δυνατότητα απορρόφησης που αγγίζει το 99%. Η απόδοση πλαισίου με της σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 6 – 8 %.

Δομή ΦΒ πλαισίου

Για να μπορέσει να λειτουργήσει το πλαίσιο τα στοιχεία δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένα στις περιβαλλοντικές συνθήκες και να προστατεύονται.

Η δομή του ΦΒ πλαισίου αποτελείται από διάφορες στρώσεις, τα οποία είναι:

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο πολυμερές υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet)
- Ηλιακά στοιχεία
- Συμπυκνωμένο πολυμερές υλικό (EVA)
- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος
- Ειδικό γυαλί



Εικόνα 06: Δομή Φ πλαισίου.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ (I – V)

Γενικά

Η συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν μοιάζει με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές. Κατά κύριο λόγο η τάση στις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές διατηρείται σταθερή στην περιοχή κανονικής λειτουργίας τους σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που η τάση τους μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που τους παρέχετε στο κύκλωμα ανεξάρτητα ακόμα και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή.

Παράγοντες που επηρεάζουν την καμπύλη I – V

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου/πλασίου είναι :

1) Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση του ρεύματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου που παρέχεται στο κύκλωμα είναι πρακτικά ανάλογη της ποσότητας της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο.

2) Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$ γίνεται με δυο τρόπους: Ο πρώτος και άμεσος τρόπος είναι μέσω του T που βρίσκεται στον εκθετικό όρο της εξίσωσης. Ενώ ο δεύτερος και έμμεσος τρόπος είναι μέσω της επίδρασης του I_0 που το μέγεθος του αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ορθή επίδραση είναι η μείωση της V_{oc} γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αντί αυτού τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην υψηλότερη τιμή της V_{oc} υφίστανται τις μικρότερες μειώσεις της τάσης με την αυξανόμενη θερμοκρασία.

Στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου η αλλαγή στην V_{oc} λόγω της θερμοκρασίας είναι της τάξης $-0.5\%/^{\circ}C$.

Δεδομένου ότι η αλλαγή στην τάση είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αλλαγή στο ρεύμα, η γενική επίδοση στην απόδοση μπορεί να ταυτιστεί με αυτήν στη τάση. Στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου προκύπτει μείωση της απόδοσης κατά $0.50\%/^{\circ}C$ και στα άμορφου πυριτίου μειώνεται κατά $0.15 - 0.25\%/^{\circ}C$.

3) Ο συντελεστής κατασκευής και ποιότητας A

Ο συντελεστής A εκφράζει πόσο συγκλίνει η πραγματική από την θεωρητική δίοδο όπου η επαφή p-n είναι ιδανική και δεν υπάρχει καμία επανασύνδεση φορέων μέσα στην περιοχή ανταλλαγής φορτίου.

4) Η αντίσταση σειράς R_s

Η αντίσταση σειράς R_s εμποδίζει την διέλευση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό.

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης

ΓΕΝΙΚΑ

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου επηρεάζεται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Εσωτερικοί είναι η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο πλαίσιο, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του στοιχείου R_s , οι οπτικές απώλειες και η γήρανση. Εξωτερικοί είναι η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η σκίαση, ο άνεμος και οι ηλεκτρικές απώλειες.

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ

I. Χωροταξική τοποθέτηση

Από την τοποθέτηση των στοιχείων μεταξύ τους εξαρτάται και ο συντελεστής κάλυψης του πλαισίου αφού όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένα μεταξύ τους τα στοιχεία τόσο μεγαλύτερος είναι.

II. Αντίσταση R_s

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση R_s . Αυτό εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p-n. Οπότε για μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης χρειαζόμαστε όσο το δυνατόν μικρότερο R_s

III. Οπτικές απώλειες

Ο όρος αυτός απεικονίζει τη διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη στις πρότυπες συνθήκες αναφοράς. Όσο αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ακτινών του ήλιου στην επιφάνεια τόσο αυξάνεται αυτή η διαφορά.

Με την διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας έχουμε επίσης οπτικές απώλειες.

IV. Γήρανση

Με την πάροδο του χρόνου δημιουργείται κάποια φθορά τόσο στο πλαίσιο όσο και στο σύστημα που το απαρτίζει οπότε η παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος θα έχει μια βαθμιαία πτώση της τάξεως του 1-2 % για κάθε έτος.

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ

I. Ακτινοβολία

Η ετήσια διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση του συστήματος και ως εκ τούτου η παράγωγή ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι συνδεδεμένη άμεσα. Με την σειρά του ο προσανατολισμός του πλαισίου ως προς τον ήλιο είναι άμεσα συνδεδεμένος με την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια του συστήματος.

II. Θερμοκρασία

Με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Με αυτόν τον τρόπο

εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, με συνέπεια την μείωση της V_{oc} και του συντελεστή πλήρωσης.

Ο ρυθμός με τον όποιον γίνεται η μείωση είναι κατά περίπου 0.5% ανά βαθμό αύξησης θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

III. Σκίαση

Η σκίαση ως φαινόμενο εμφανίζεται στην περίπτωση που υπάρχει ένα εμπόδιο στο ορίζοντα των πλαισίων, είτε στην περίπτωση που υπάρχει έλλειψη χώρου με αποτέλεσμα την σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη.

Στα τυπικά πλαίσια το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση. Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους παράκαμψης.

IV. Άνεμος

Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του άνεμου μπορούν να καθορίσουν σημαντικά την θερμοκρασία του στοιχείου καθώς μεγάλες ταχύτητες κρύων ανεμών έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας σε σχέση με την λειτουργία σε συνθήκες άπνοιας.

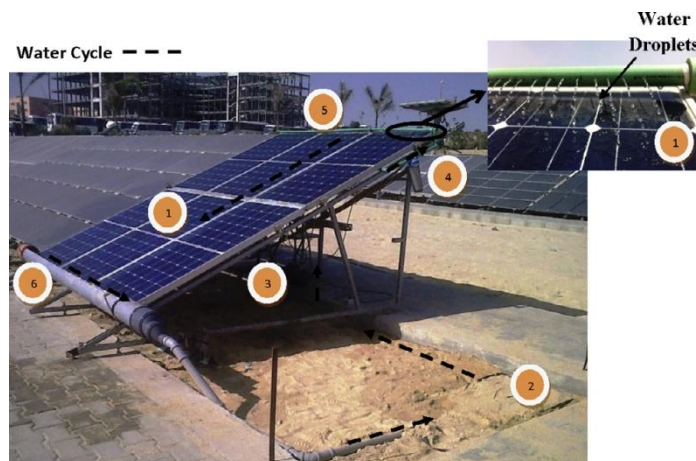
V. Ηλεκτρικές απώλειες

Κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να υπολογιστεί και ο παράγοντας των ηλεκτρικών απωλειών στους αγωγούς τόσο στην σύνδεση των πλαισίων μεταξύ τους όσο και την σύνδεση τους με αλλά μέρη του συστήματος. Οι απώλειες αυτές μπορεί να είναι της τάξεως του 30% της παραγόμενης ενέργειας ή και παραπάνω.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Στο πλαίσιο της διαδικασίας διερεύνησης του βασικού αντικειμένου της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ένας σημαντικός αριθμός συναφών μελετών εμφανίζεται στην διεθνή βιβλιογραφία:

1. Στην μελέτη των K.A.Moharam et.al. η ψύξη του φωτοβολταϊκού γίνεται με ένα σύστημα διοχέτευσης νερού πανό στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου μέσω μπεκ που είναι τοποθετημένα στην πάνω πλευρά του πάνελ. Η απόδοση του συγκεκριμένου συστήματος είναι η μείωση της θερμοκρασίας με ρυθμό $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Τα αρνητικά του συστήματος είναι ότι το νερό που ρέει είναι ευάλωτο στο θέμα του αέρα που μπορεί να φυσήξει και να το παρασύρει μακριά από το πάνελ και επίσης στο νερό που είναι στην επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου αντανακλούνται οι ακτίνες του ηλίου που προσπίπτουν πάνω του. [A.Moharam, M.S.Abd-Elhady, H.A.Kandil, H.Ei-Sherif, 2013]



Εικόνα 07: Πειραματική διάταξη ΦΒ με σύστημα ψύξης ψεκασμού νερού στην επιφάνεια από μπεκ.

2. Στην μελέτη αυτή των H.Bahaidarah et.al. η μέθοδος που ακολουθείται για την ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι η δημιουργία ενός εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος τοποθετείται σε επαφή με την πίσω επιφάνεια του ΦΒ με αποτέλεσμα να απορροφάται η θερμότητα του πάνελ. Η απόδοση του συστήματος είναι η μείωση της θερμοκρασίας κατά 20% και αύξηση της απόδοσης κατά 9%. [H.Bahaidarah, Abdul Subhan, P.Gandhidasan, S.Rehman, 2013]

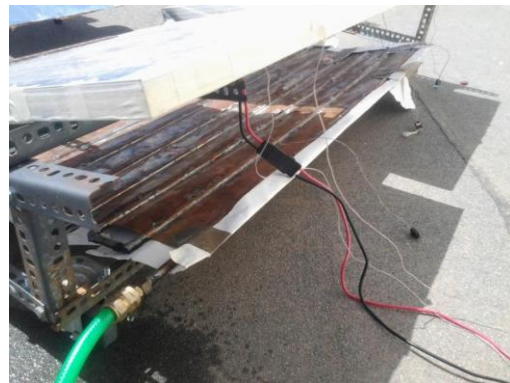


Εικόνα 08: Διάταξη ΦΒ πλαισίου συνδεδεμένο με δεξαμενή νερού

3. Στην μελέτη του Ζαφειράκη Παναγιώτη γίνεται η τοποθέτηση ανακλαστήρων για την αύξηση της ηλεκτρικής ενεργείας του φωτοβολταϊκού αλλά παράλληλα και η ψύξη του πλαισίου με παθητικές αλλά και ενεργητικές μεθόδους. Η παθητική μέθοδος για την ψύξη του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η τοποθέτηση παγοκυστών στην πίσω επιφάνεια. Η πρώτη ενεργητική μέθοδος ψύξης ήταν η τοποθέτηση σπирάλ πλαστικού σωλήνα στην πίσω επιφάνεια του πλαισίου και η ροή ρευστού μέσα από αυτό. Ενώ η επομένη μέθοδος που πραγματοποιήθηκε ήταν η τοποθέτηση ψυχομένης επιφάνειας σε απόσταση από το πλαίσιο για την βελτίωση της παθητικής ψύξης και όλα αυτά με την χρήση ανακλαστήρων για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος [Ζαφειράκης Παναγιώτης, 2014]

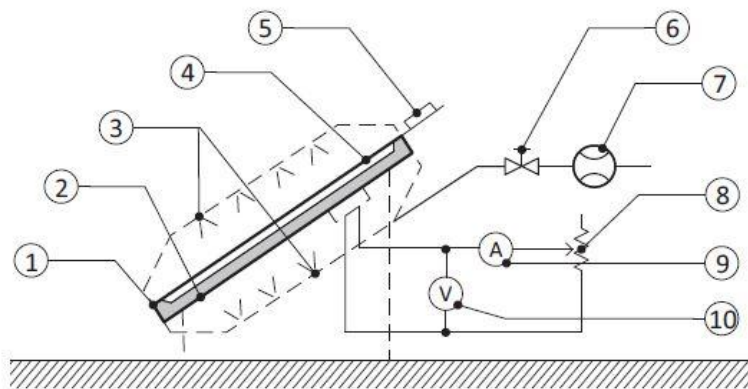


Εικόνα 09: Υβριδικό σύστημα.



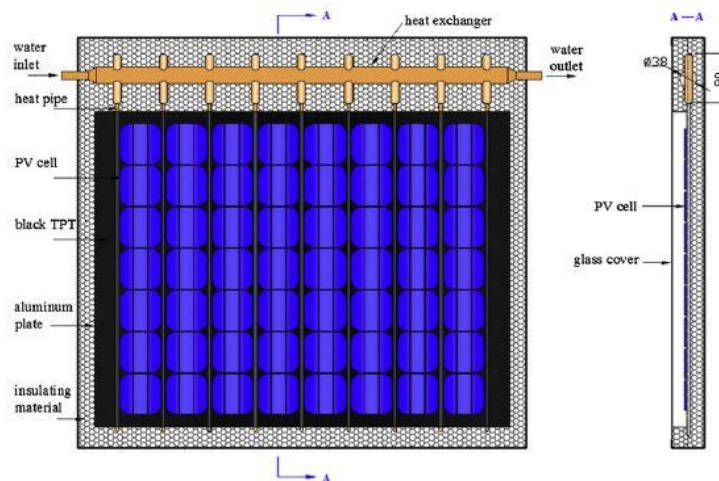
Εικόνα 10: Διάταξη με ανακλαστήρα και ψυχομένη επιφάνεια.

4. Στην παρακάτω μελέτη των S. Niz'etic' et.al. αναπτύσσεται μέθοδος ψύξης ΦΒ πλαισίου με ψεκασμό νερού στην μπροστινή επιφάνεια αλλά παράλληλα και στην πίσω επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου. Ο ψεκασμός του νερού στην μπροστινή επιφάνεια έχει σκοπό την ψύξη του φωτοβολταϊκού αλλά παράλληλα και την εκκαθάριση της επιφάνειας από την σκόνη που συσσωρεύεται αλλά και διαφορές βρώμιες επίσης. Με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου παρατηρήθηκε ότι η ηλεκτρική αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού μπορεί να αυξηθεί κατά 20%. [S. Niz'etic', D. C'oko, A. Yadav, F. Grubišić'-C'abo, 2015].



Εικόνα 11: Διάταξη ψεκασμού νερού στην μπροστά και πίσω επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου.

5. Σε αυτήν την μελέτη των Pei Gang et.al. ερευνάται η μέθοδος ψύξης με την ενσωμάτωση σωλήνων θερμότητας στην πίσω επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου και η δοκιμή του συστήματος σε διαφορές συνθήκες όπως η διαφορετική ρυθμοί ροών του νερού. Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου συστήματος ψύξης έδειξαν ότι η θερμική απόδοση αγγίζει το 20% [Pei Gang, Fu Huide, Zhu Huijuan, Ji Jie, 2011].



Εικόνα 12: Τοποθέτηση σωλήνων θερμότητας στο ΦΒ πλαίσιο

6. Η μελέτη του Stefan Krauter αναπτύσσει την μέθοδο ψύξης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με την ροή νερού στην μπροστινή επιφάνεια από ένα σύστημα εκροής νερού που βρίσκεται πάνω από το ΦΒ και έχει σκοπό την δημιουργία μιας λεπτής στρώσης νερού πάνω σε ολόκληρη την επιφάνεια. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι η αύξηση της ηλεκτρικής ενεργείας μέσα σε μια ημέρα κατά 10,3%. [Stefan Krauter, 2004]



Εικόνα 13: Δημιουργία μιας λεπτής στρώσης νερού στην επιφάνεια του ΦΒ.

7. Στην συγκεκριμένη μελέτη των M. Rosa-Clot et.al. ερευνάται η ψύξη του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την μέθοδο της βύθισης του πλαισίου μέσα σε νερό. Στην μελέτη αυτή έγιναν δόκιμες σε διαφορετικά βάθη μιας πισίνας και τα αποτελέσματα ήταν ότι η θερμοκρασία παραμένει σταθερή κοντά στους 30°C αλλά η απόδοση αλλάζει ανάλογα με το βάθος βυθίσεις του πλαισίου. Ο βαθμός απόδοσης λόγω σταθερής θερμοκρασίας συνεπάγεται με αύξηση 20% που όμως όταν το πλαίσιο βυθίζεται σε 4cm νερό μειώνεται κατά 10% περίπου και όταν κατά 35% όταν το πλαίσιο βυθίζεται σε βάθος 40cm. [M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot, G.M. Tina, P.F. Scandura, 2009].

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Απορροφούμενη ισχύς από το ΦΒ πλαίσιο

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το ΦΒ πλαίσιο (P_{abs}), επιφάνια S δίνεται από τη σχέση :

$$P_{abs} = \tau * \alpha * S * G_t$$

Όπου:

- **S** : Η επιφάνια του ΦΒ πλαισίου.
($0.4m * 0.9m = 0.36m^2$).
- **τ, α** : Το (τ) είναι η διαπερατότητα του υαλοπίνακα της όψης και το (α) η απορροφητικότητα που συνθέτουν τα υλικά το ΦΒ στοιχείο.
($\tau * \alpha = 0.90$)
- **G_t** : Η πυκνότητα της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου, οι τιμές προκύπτουν από μονόμετρες εργαστηριακές μετρήσεις για κάθε 24ωρο.

Μήνας	Gt (W/m ²)	Pabs (W)
Ιουλ-2010	940	304,6
Αυγ-2010	997	323,0
Σεπ-2010	1030	333,7
Οκτ-2010	970	314,3
Νοε-2010	845	273,8
Δεκ-2010	550	178,2
Ιαν-2011	763	247,2
Φεβ-2011	540	175,0
Μαρ-2011	983	318,5
Απρ-2011	940	304,6
Μαϊ-2011	973	315,3
Ιουν-2011	1031	334,0

Πινάκας 01: Ισχύ απορρόφησης ΦΒ πλαισίου κατά ένα χρονικό έτος.

Συναλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ ουρανού, εδάφους και ΦΒ πλαισίου

Η συνολική ισχύς από την ακτινοβολία συναλλαγής ισούται με το άθροισμα της ισχύς ακτινοβολίας συναλλαγής της μπροστινής όψης του ΦΒ πλαισίου με τον ουρανό και το έδαφος ($P_{rad,f}$), και της πίσω επιφάνειας του πλαισίου με τον ουρανό και το έδαφος ($P_{rad,b}$) και η σχέση είναι:

$$P_{rad} = P_{rad,f} + P_{rad,b}$$

Που :

$$P_{rad,f} = \sigma * S * \left\{ \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) * \varepsilon_{mf} * (T_{mf}^4 - T_s^4) + \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) * \varepsilon_{mf} * (T_{mf}^4 - T_{gf}^4) \right\}$$

$$P_{rad,b} = \sigma * S * \left\{ \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) * \varepsilon_{mf} * (T_{mb}^4 - T_s^4) + \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) * \varepsilon_{mf} * (T_{mb}^4 - T_{gb}^4) \right\}$$

Όπου :

- σ : Η σταθερά των Stefan – Boltzmann.
($5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

- β : Η γωνία κλίσης του ΦΒ πλαισίου.
(30°) $\rightarrow \cos\beta = 0,866$
- ϵ_{mf} : Η ικανότητα εκπομπής της μπροστινής επιφάνειας.
(0.920)
- ϵ_{mb} : Η ικανότητα εκπομπής της πίσω επιφάνειας.
(0.920)
- T_{mf} : Η θερμοκρασία της μπροστινής επιφάνειας.
- T_{mb} : Η θερμοκρασία της πλάτης του ΦΒ πλαισίου.
- T_s : Η θερμοκρασία του ουρανού.
Προσέγγιση : $T_s = T_a - \delta T$, όπου
 δT , για αίθρια ημέρα (20K) ενώ για πλήρως συννεφιασμένη (0K).
 T_a , η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- T_{gf} : Η θερμοκρασία του εδάφους μπροστά από το ΦΒ πλαίσιο.
- T_{gb} : Η θερμοκρασία του εδάφους πίσω από το ΦΒ πλαίσιο.

	Θερμ. Περιβ. (°C)	Θερμ. ΦΒ Πάνελ (°C)	T_{mf} (K)	T_{mb} (K)	T_a (K)	T_s (K)	T_{gf} (K)	T_{gb} (K)	$P_{rad,f}$ (W)	$P_{rad,b}$ (W)	P_{rad} (W)
Ιουλ-2010	31	54	327	330	304	284	313	298	88,8	76,4	165,2
Αυγ-2010	33	55	328	331	306	286	313	298	88,3	79,1	167,4
Σεπ-2010	28	54	327	330	301	281	311	295	93,9	82,2	176,0
Οκτ-2010	22	46	319	322	295	275	303	291	83,9	69,3	153,2
Νοε-2010	22	42	315	318	295	275	304	288	73,0	63,8	136,8
Δεκ-2010	22	33	306	309	295	275	298	283	55,2	52,3	107,5
Ιαν-2011	17	33	306	309	289	269	293	283	63,8	53,1	116,9
Φεβ-2011	15	26	299	302	288	268	293	283	50,4	37,3	87,8
Μαρ-2011	24	46	319	322	297	277	303	293	81,3	66,0	147,3
Απρ-2011	22	45	318	321	295	275	301	283	80,5	78,8	159,4
Μαϊ-2011	28	53	326	329	301	281	308	298	93,4	75,1	168,5
Ιουν-2011	26	55	328	331	299	279	308	298	99,9	79,6	179,5

Πινάκας 02: Αποτελέσματα συνολικής ισχύς από ακτινοβολία συναλλαγής.

Απώλειες ενέργειας με συναγωγή

Οι συνολικές απώλειες ενέργειας του πλαισίου σε συναγωγή ισούνται με την ισχύ συναγωγής στην όψη και την ισχύ συναγωγής στην πίσω επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου.

$$P_{\text{conv}} = P_{\text{conv},f} + P_{\text{conv},b}$$

Που :

$$P_{\text{conv},f} = h_{mf} * S * (T_{mf} - T_a)$$

$$P_{\text{conv},b} = h_{mb} * S * (T_{mb} - T_a)$$

Όπου :

- h_{mf} : Ο συντελεστής μεταβίβασης της μπροστινής επιφάνειας.
- h_{mb} : Ο συντελεστής μεταβίβασης της πίσω επιφάνειας.
- T_a : Η θερμοκρασία του αέρα

Ο συντελεστής μεταβίβασης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι είναι η ταχύτητα του ανέμου, ο προσανατολισμός του πλαισίου και η διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο συντελεστής υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση :

$$h = a * [(T - T_a) * \cos\beta]^{1/3} + b * ws$$

Όπου :

- a, b : Εμπειρικές σταθερές που σε κάθε περίπτωση διαφέρουν.
 $a = 1.31$, $b = 3.80$
- ws : Η ταχύτητα του ανέμου.
- T : Η θερμοκρασία της επιφάνειας.

	T_{mf} (K)	T_{mb} (K)	T_a (K)	ws (m/s)	h_f	h_b	$P_{conv,f}$ (W)	$P_{conv,b}$ (W)	P_{conv} (W)
Ιουλ-2010	327	330	304	0,5	5,456	5,604	45,4	52,7	98,1
Αυγ-2010	328	331	306	0,8	6,544	6,696	52,1	60,5	112,6
Σεπ-2010	327	330	301	0,5	5,604	5,741	52,7	60,1	112,8
Οκτ-2010	319	322	295	0,7	6,267	6,411	54,4	62,5	116,9
Νοε-2010	315	318	295	0,8	6,401	6,565	45,0	53,2	98,1
Δεκ-2010	306	309	295	0,5	4,702	4,931	19,1	25,4	44,5
Ιαν-2011	306	309	289	1,0	7,004	7,184	42,6	51,5	94,1
Φεβ-2011	299	302	288	1,0	6,577	6,809	26,1	34,3	60,4
Μαρ-2011	319	322	297	1,0	7,312	7,463	58,6	67,8	126,4
Απρ-2011	318	321	295	0,6	5,810	5,960	47,3	54,9	102,2
Μαϊ-2011	326	329	301	0,4	5,214	5,352	48,6	55,7	104,3
Ιουν-2011	328	331	299	0,3	4,976	5,104	52,0	58,8	110,8

Πινάκας 03:Σύνολικες απώλειες ενέργειας λόγω συναγωγής.

Ενεργειακό ισοζύγιο

Το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ του ΦΒ πλαισίου και του περιβάλλοντος αποτελείται από την ισχύ που απορροφάται από την επιφάνεια του ΦΒ (P_{abs}) η οποία ισούται με το άθροισμα : Της ισχύς που συναλλάσσεται με ακτινοβολία μεταξύ ΦΒ πλαισίου και περιβάλλοντος (P_{rad}), της απώλειας μεταξύ των στρωμάτων του ΦΒ με συναγωγή (P_{conv}) και την ηλεκτρική ισχύ που αποδίδει το ΦΒ πλαίσιο ($P_{\Phi B}$).

Ο τύπος που μας δίνει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του ΦΒ πλαισίου είναι :

$$P_{\Phi B} = \frac{G_t}{G_{STC}} * P_p * [1 - \gamma_{mp} * (T_c - T_{STC})]$$

Όπου :

- G_{STC} : 1000 W/m²
- T_{STC} : 298 K (25°C)
- T_c : Η θερμοκρασία κυψελίδας \approx θερμοκρασία ΦΒ πάνελ.
- γ_{mp} : Θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος.
0,45% (Κατασκευαστής)
- P_p : Ισχύς αιχμής του ΦΒ πλαισίου
50 W (Κατασκευαστής)

	G_t (W/m ²)	T_c (K)	$P_{ΦΒ}$ (W)
Ιουλ-2010	940	327	40,9
Αυγ-2010	997	328	43,1
Σεπ-2010	1030	327	44,8
Οκτ-2010	970	319	43,9
Νοε-2010	845	315	39,1
Δεκ-2010	550	306	26,5
Ιαν-2011	763	306	36,7
Φεβ-2011	540	299	26,9
Μαρ-2011	983	319	44,5
Απρ-2011	940	318	42,9
Μαϊ-2011	973	326	42,4
Ιουν-2011	1031	328	44,6

Πινάκας 04: Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ ΦΒ πλαισίου.

Σύστημα ψύξης

Η ισχύς που πρέπει να απορροφηθεί από το σύστημα ψύξης μας είναι το άθροισμα της ισχύς συναγωγής στην πίσω επιφάνεια του ΦΒ και η ισχύς που προκύπτει από την ανταλλαγή ακτινοβολίας του πίσω μέρους του ΦΒ πλαισίου με το περιβάλλον.

$$P_{\text{conv,b}} + P_{\text{rad,b}}$$

ΙΟΥΛΙΟΣ 2010	129,0 (W)
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2010	139,6 (W)
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2010	142,3 (W)
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010	131,8 (W)
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2010	117,0 (W)
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010	77,7 (W)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011	104,7 (W)
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011	71,7 (W)
ΜΑΡΤΙΟΣ 2011	133,8 (W)
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011	133,7 (W)
ΜΑΙΟΣ 2011	130,8 (W)
ΙΟΥΝΙΟΣ 2011	138,4 (W)

Πινάκας 05: Συνολική ισχύς που πρέπει να αποβληθεί.

Η πιο ακραία περίπτωση που πρέπει να καλυφτεί από τον σύστημα είναι τα 143 W ↔ 143 J/sec.

Από την στιγμή που η ειδική θερμότητα του νερού είναι 4180 J/(Kg·K), δηλαδή για να μπορέσουμε να θερμάνουμε κατά έναν βαθμό κελσίου 1gr νερού θα χρειαστούμε 4,18 J

Άρα για τα 143 J/sec θα χρειαστούμε 34.21gr/sec ≈ 35gr/sec και αφού η πυκνότητα του νερού είναι $\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$

$$V = m / \rho = 35 \text{ cm}^3/\text{sec} = 0.035 \text{ Lt/sec}$$

Υπολογισμός Σωληνώσεων

Από τους υπολογισμούς για μια ημέρα του Αυγούστου και δεκάλεπτες μετρήσεις την χρονική περίοδο 12:00 - 13:00 η μέση τιμή της ισχύς που πρέπει να απορροφηθεί από το σύστημα είναι 55W.

Θεωρούμε ότι η διάφορα θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του συστήματος και στην έξοδο του είναι 5 βαθμούς και ο χρόνος παραμονής του νερού 10 λεπτά.

$$P = V * \rho * C_m * (\theta_2 - \theta_1)$$

$$55W = V * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4200 \frac{J}{Kg * K} * 5K$$

$$V = \frac{55 \frac{J}{sec}}{1000 \frac{Kg}{m^3} * 4200 \frac{J}{Kg * K} * 5K} = 2.619 * 10^{-6} m^3/sec$$

$$V = 2.619 * 10^{-6} \frac{m^3}{sec} * (10 * 60sec) = 1.57 * 10^{-3} m^3 = 1.57 Lt$$

Για την κατασκευή θα χρησιμοποιήσουμε

χαλκοσωλήνα Φ 22 πάχους 0,8 εσωτερική διάμετρο Φ 20,4

χαλκοσωλήνα Φ 28 πάχους 0,8 εσωτερική διάμετρο Φ 26,4

Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι 0,40m * 0,35m

Οπότε για κάθε μέτρο σωλήνα ξεχωριστά ο όγκος του νερού που θα περάσει εσωτερικά του θα είναι :

$$V_{\Phi 22} = \pi * \rho^2 * l = \pi * 0,0102^2 * 1 = 3,267 * 10^{-4} m^3$$

$$V_{\Phi 28} = \pi * \rho^2 * l = \pi * 0,0132^2 * 1 = 5,471 * 10^{-4} m^3$$

Η διάταξη θα σχηματιστεί με :

Για το οριζόντια τμήματα με 2 σωλήνες Φ28 και μήκος 0.380 m

$$V_o = 5,471 * 10^{-4} m^2 * 0,380m = 2,079 * 10^{-4} m^3 = 0,2079 lt * 2 = 0,4158 Lt$$

Για το μικρό οριζόντιο τμήμα με σωλήνα Φ22 και μήκος 0.16 m

$$V_o, \mu\kappa\rho\acute{o} = 3,267 * 10^{-4} m^2 * 0,160m = 5,227 * 10^{-5} m^3 = 0,0523 Lt$$

Για τα κάθετα τμήματα με σωλήνες Φ22 και μήκος 0.29 m

$$V_k = 3.267 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 0.29\text{m} = 9.572 * 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.0957 \text{ Lt}$$

Για τα μικρά κάθετα τμήματα θα χρειαστούν 2 σωλήνες Φ22 και μήκος 0.13 m

$$V_{k, \text{μικρό}} = 3.267 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 0.13\text{m} = 4.312 * 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.0431 \text{ Lt} * 2 = 0.0862 \text{ Lt}$$

Για να προκύψει η ποσότητα των καθετών σωλήνων Φ22 με μήκος 0.29 m:

$$1,10 \text{ Lt} - 0.4158 \text{ Lt} - 0.0523 \text{ Lt} - 0.0862 \text{ Lt} = 0.5457 \text{ Lt} / 0,0957 \text{ Lt} = 5.701 = 6$$

Άρα θα χρειαστούν 6 κάθετοι σωλήνες.

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΝΕΛ

Το φωτοβολταϊκό πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε για το πείραμα μας αλλά και το άλλο που θα έχουμε ως αναφοράς θα είναι το enerSol 10W.



Εικόνα 14: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο 10W

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνονται από τον κατασκευαστή είναι τα παρακάτω.

General characteristics	Cell	Polycrystalline solar cell 52 x 39 mm
	No. of Cells (Connections)	36 (6x6)
	Panel Dimensions	310 x 368 x 17 mm
	Weight	1.5 kg
Electric performance at STC	Maximum Power	10 Wp
	Power Tolerance	0/+5 Wp
	Maximum Power Voltage	18 V
	Maximum Power Current	0.56 A
	Open Circuit Voltage	21.1 V
	Short Circuit Current	0.73 A
Thermal conditions	Normal Operating Cell Temperature 800 W/m ² Irradiance, 20°C, AM=1.5	48°C ± 2°C
	Power Temperature Coefficient	(-0.5%) /K
	Current Temperature Coefficient	(0.035%) /K
	Voltage Temperature Coefficient	(-0.37%) MV/K

Πινάκας 06: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου.

ΥΛΙΚΑ

Υλικά κατασκευής

Για την κατασκευή της διάταξης ψύξης του ΦΒ πλαισίου χρησιμοποιήσαμε κατά κύριο λόγο χαλκοσωλήνα διότι είναι καλός αγωγός της θερμότητας και με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να μειώσουμε στο μέγιστο δυνατό την θερμοκρασία του πλαισίου.

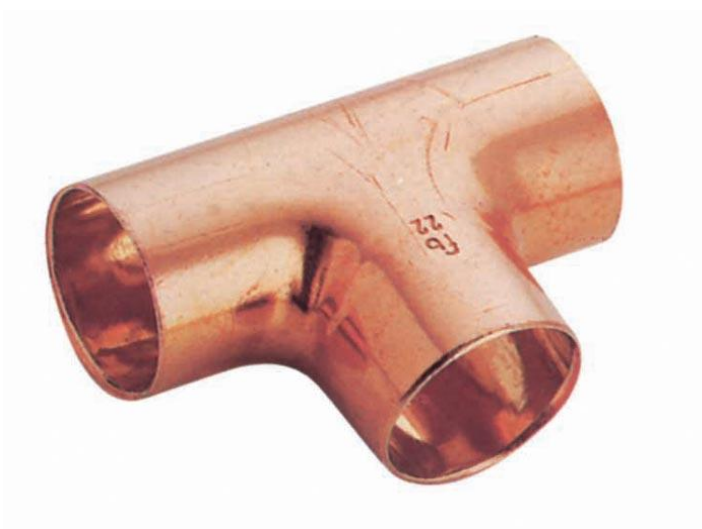
Συγκεκριμένα τα υλικά που χρειαστήκαμε ήταν :

- Χαλκοσωλήνα Φ22 και Φ28 πάχους 0,8 mm



Εικόνα 15: Σωλήνες χαλκού

- Ταφ για της διακλάδωσης του συστήματος



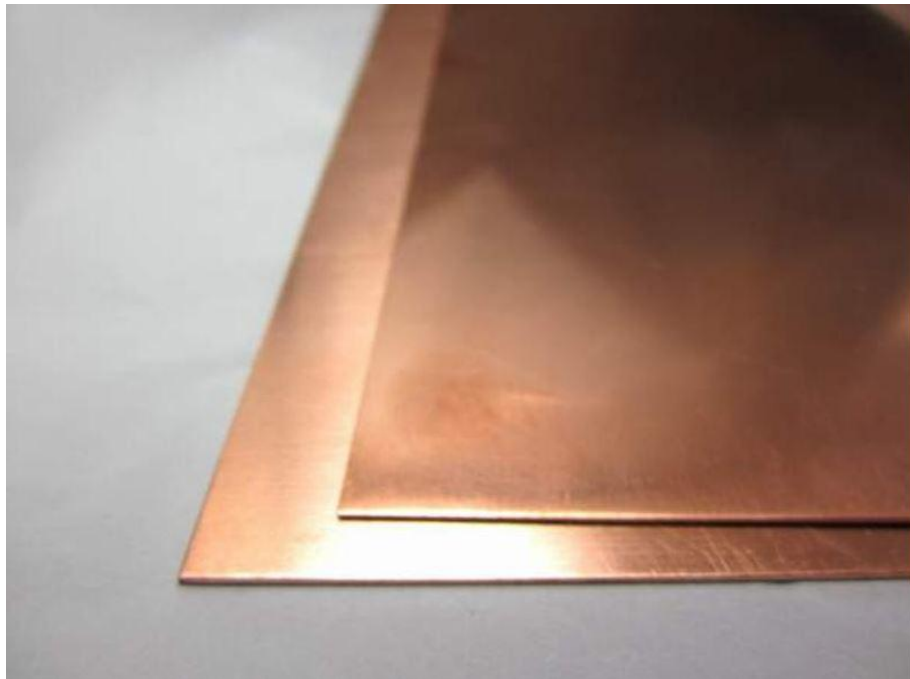
Εικόνα 16: Ταφ χαλκού

- Τάπες για τους χαλκοσωλήνες



Εικόνα 17: Τάπα χαλκού

- Φύλλο χαλκού 2mm για την μέγιστη επαφή μεταξύ συστήματος ψύξης και ΦΒ πλαισίου.



Εικόνα 18: Φύλλο χαλκού.

- Γωνιά για την είσοδο και την έξοδο του νερού από το σύστημα



Εικόνα 19: Χάλκινη γωνιά.

Εργαλεία και εξαρτήματα

Τα επιπλέον εργαλεία, υλικά και εξαρτήματα που χρειαστήκαν για την διαμόρφωση του συστήματος είναι τα εξής :

- Φλόγιστρο συγκόλλησης.



Εικόνα 20: Φλόγιστρο.

- Καλάι συγκόλλησης.



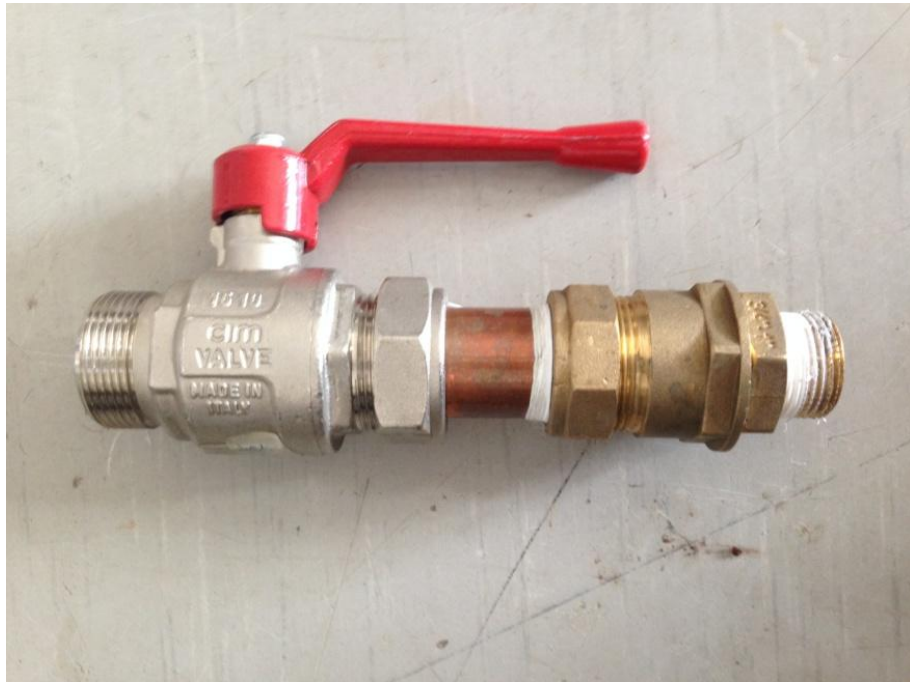
Εικόνα 21: Καλάι.

- Αλοιφή για καλάι – Σολντερίνη για τον καθαρισμό του σημείου συγκόλλησης.



Εικόνα 22: Αλοιφή συγκολλήσεως.

- Βάνα για τον έλεγχο της εισαγωγής του νερού στο σύστημα.



Εικόνα 23: Βάνα έλεγχου.

- Μονωτική ταινία σπειρωμάτων



Εικόνα 24: Μονωτική.

- Χρονοδιακόπτης αντιστροφής μέτρησης για την αυτόματη διακοπή της ροής του νερού μετά το περάς ενός συγκεκριμένου χρόνου.



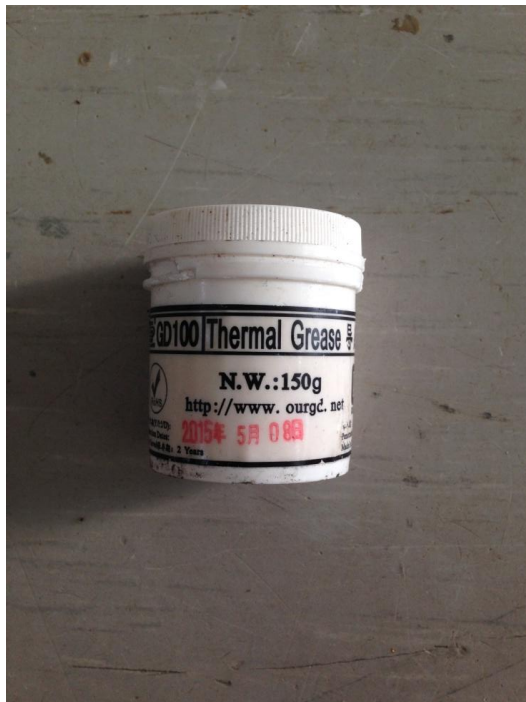
Εικόνα 25: Χρονοδιακόπτης αντιστροφής μέτρησης.

- Μετρητής ροής και κατανάλωσης νερού για τον έλεγχο της ταχύτητας που θα εισέρχεται το νερό στο σύστημα.



Εικόνα 26: Μετρητής ροής και κατανάλωσης Gardena.

- Θερμοαγώγιμη πάστα για την μεταφορά της θερμότητας απευθείας στο σύστημα χωρίς την ύπαρξη κενού αέρος.



Εικόνα 27: Θερμοαγώγιμη πάστα.

ΣΤΑΔΙΑ

Κατασκευή

Τα στάδια κατασκευής του συστήματος ψύξης είναι τα ακόλουθα :

- Κόβουμε τους σωλήνες $\Phi 22$ και $\Phi 28$ στις διαστάσεις και την ποσότητα που χρειαζόμαστε. Από το $\Phi 22$ χρειαζόμαστε 4 σωλήνες 275mm και 6 σωλήνες 140mm, Ενώ από τον σωλήνα $\Phi 28$ χρειαζόμαστε 2 κομμάτια των 380 mm.



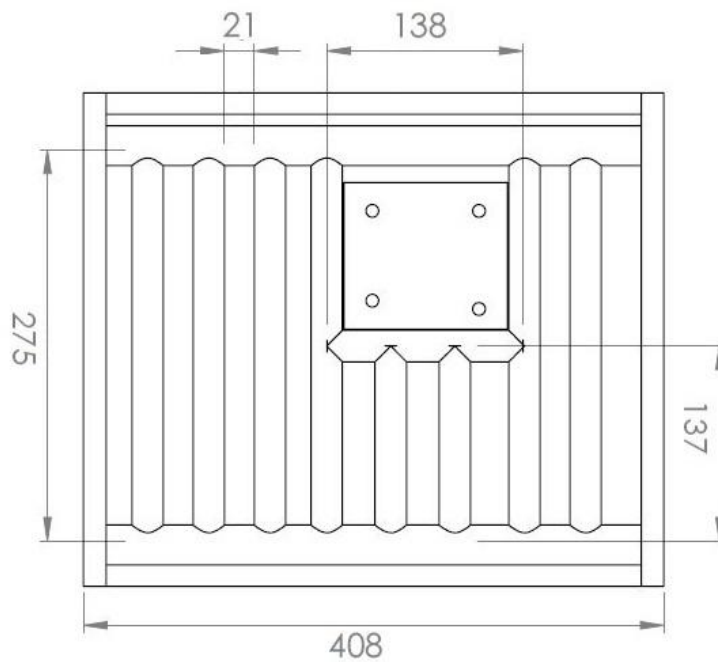
Εικόνα 28: Κοπή σωλήνων στις κατάλληλες διαστάσεις.

- Τρυπάμε τους Φ28 σωλήνες στο κέντρο για να μπορέσουμε να τοποθετήσουμε τους σωλήνες Φ22 μέσα.



Εικόνα 29: Δημιουργία οπών στον σωλήνα Φ28.

Η ακριβής τοποθέτηση και οι διαστάσεις για τους σωλήνες μεταξύ τους είναι η εξής.



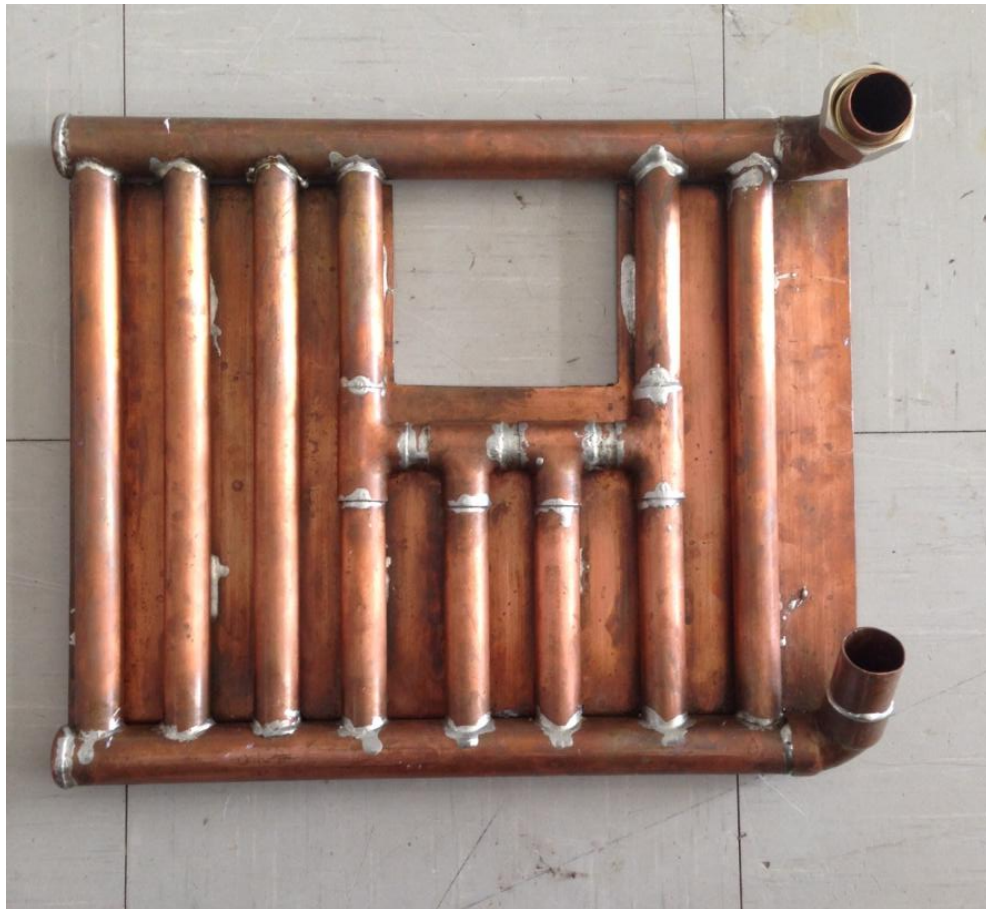
Εικόνα 30 : CAD συστήματος ψύξης.

- Συγκολλούμε τους σωλήνες, τις τάπες, τα ταφ και τις γωνίες.



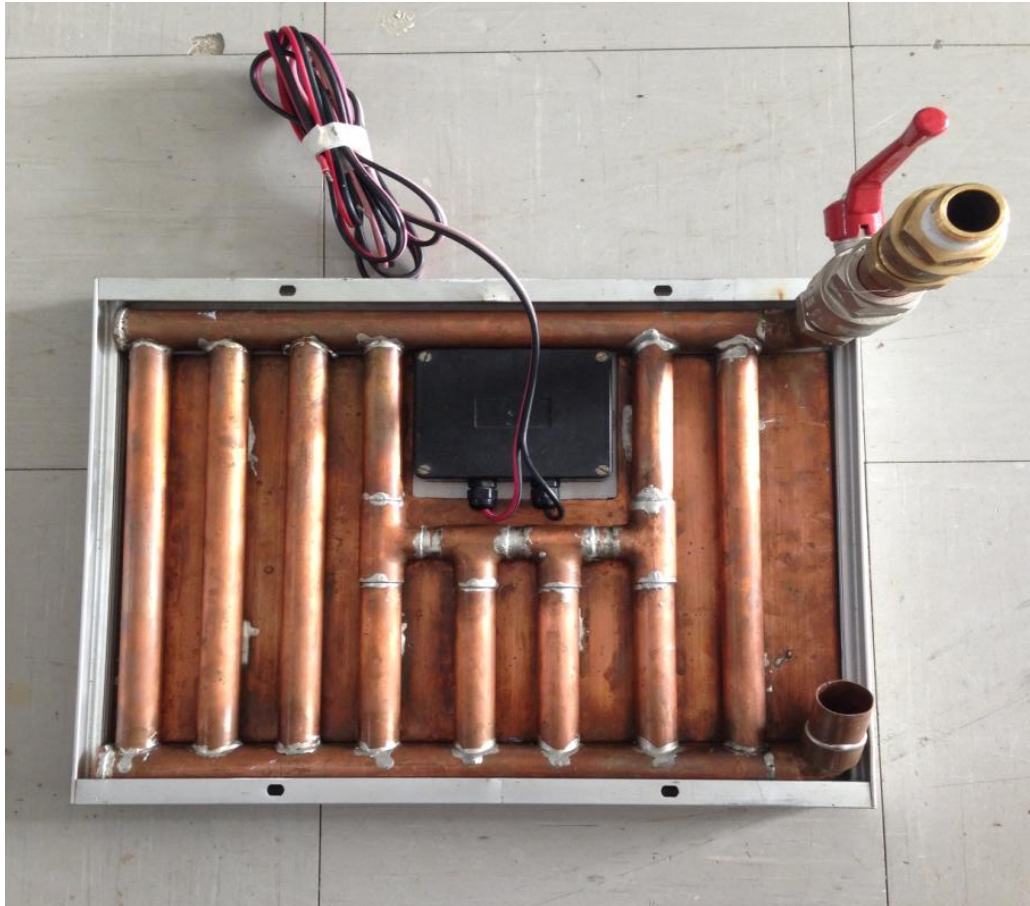
Εικόνα 31: Συγκόλληση χαλκοσωληνων.

- Τοποθετούμε το φύλλο χαλκού στην πίσω όψη του συστήματος και το συγκολλούμε και αυτό.



Εικόνα 32: Σύστημα ψύξης.

- Τοποθετούμε την κατασκευή στην πίσω πλευρά του ΦΒ πλαισίου αφού πρώτα έχουμε τοποθετήσει ανάμεσα στο φύλλο χαλκού και το ΦΒ πλαίσιο θερμοαγώγιμη πάστα.



Εικόνα 33: Τοποθετημένο σύστημα ψύξης στην πίσω πλευρά του ΦΒ πλαισίου.

Το σύστημα ψύξης είναι έτοιμο πλέον να τεθεί σε λειτουργία.

Διάταξη συστήματος

Η διάταξη του συστήματος για την ψύξη του ΦΒ πλαισίου είναι η εξής:

- Τοποθετούμε το ΦΒ πλαίσιο μαζί με το σύστημα ψύξης που έχει στο πίσω μέρος του σε γωνία κλίση 30° και προσανατολισμό Νότιο.
- Τοποθετούμε το πυρανόμετρο με τον ίδιο προσανατολισμό και κλίση με το πλαίσιο.

- Τοποθετούμε στην βρύση που θα μας παρέχει το νερό έναν μετρητή ροής νερού ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε την ροή και την ταχύτητα του νερού που εισέρχεται στο σύστημα.
- Συνδέουμε με λάστιχο τον μετρητή ροής που είναι τοποθετημένος πάνω στην βρύση με το χρονοδιακόπτη ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος του συστήματος που γίνεται η είσοδος του νερού λόγω του ότι το θερμότερο νερό λόγω μικρότερης πυκνότητάς ανεβαίνει προς τα πάνω και για αυτόν τον λόγο έχουμε και την έξοδο στο επάνω σημείο.
- Στο επάνω σημείο τοποθετούμε ένα λάστιχο στην ήδη τοποθετημένη βάνα που υπάρχει για να οδηγήσουμε το εξερχόμενο νερό στο σημείο που επιθυμούμε.



Εικόνα 34: Πειραματική διάταξη συστήματος ψύξης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να λειτουργήσει το σύστημα στην βέλτιστη απόδοση του πρέπει να κάνουμε αρκετές δοκιμές με διαφόρους συνδυασμούς ταχύτητας ροής του νερού, χρόνου παραμονής του στο σύστημα μέσα και τον χρόνο ανακυκλοφορίας που χρειάζεται για να ψηχθεί ξανά.

Πειραματική αξιολόγηση

Έχοντας στήσει το σύστημα στην διάταξη που αναφέραμε παραπάνω πρέπει να κάνουμε και την συνδεσμολογία ώστε να μπορέσουμε να πάρουμε τα στοιχεία που χρειαζόμαστε για να βρούμε το βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Τα οποία στοιχεία είναι η καμπύλη I-V που προκύπτει στην κάθε περίπτωση, η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

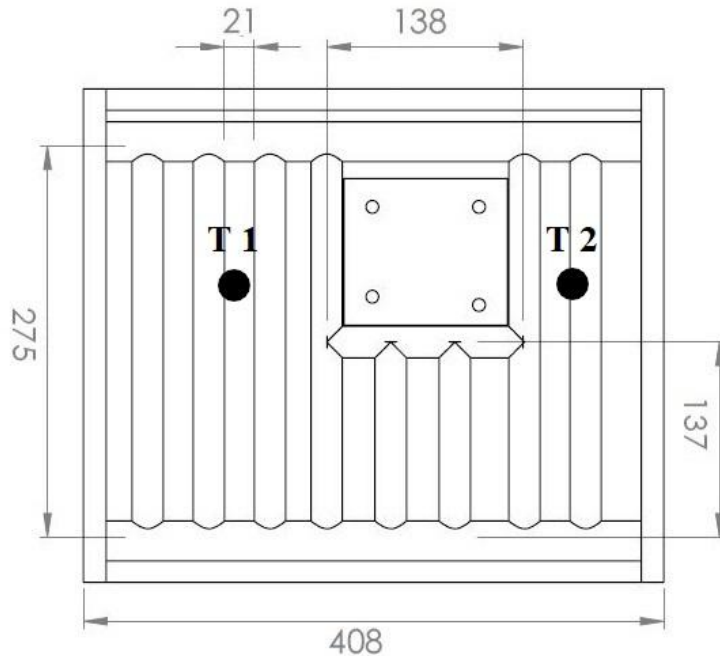
Τα όργανα που χρειάζονται για της μετρήσεις είναι : Πυρανόμετρο, πολύμετρα, θερμόμετρο, ηλεκτρικό φορτίο το οποίο παίζει το ρόλο της μεταβλητής αντίστασης.

- Συνδέουμε πανό στο ηλεκτρικό φορτίο το πυρανόμετρο στην θέση (PV) που βρίσκεται αριστερά και στις άλλες δυο θέσεις πολύμετρα για να μετρήσουμε αντίστοιχα τάση (V) και ρεύμα (A).



Εικόνα 35: Ηλεκτρικό φορτίο.

- Τοποθετούμε το θερμόμετρο στην πίσω πλευρά του συστήματος σε δυο διαφορετικά σημεία για να πάρουμε της θερμοκρασίες που χρειαζόμαστε τόσο στο σύστημα μας όσο και στο ΦΒ αναφοράς.

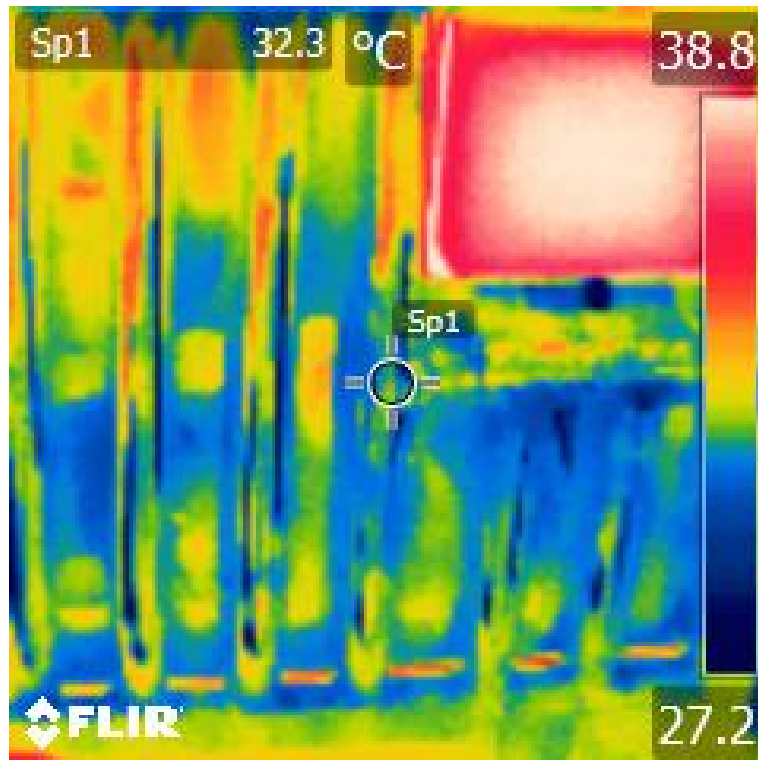


Εικόνα 36: Θέσης μέτρησης θερμοκρασίας.

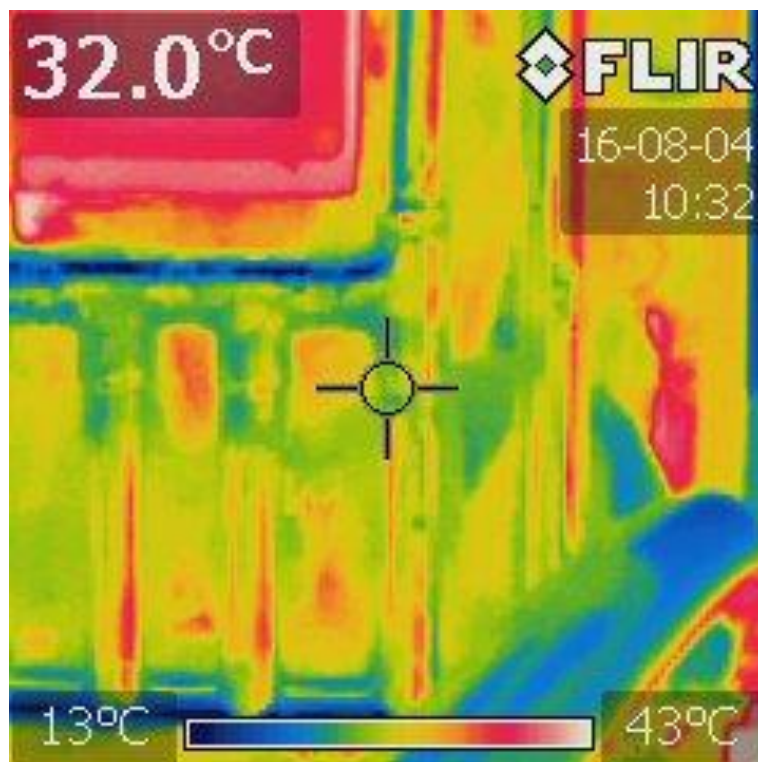
Θερμική αποτίμηση

Η αρχική αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος ψύξης που φτιάξαμε πραγματοποιήθηκε με φωτογραφίες μέσω θερμοκάμερας. Οι παρακάτω φωτογραφίες αποτυπώνουν έμπρακτα την διάφορα. Η λήψη των φωτογραφιών έγινε μια αίθρια μέρα του καλοκαιριού.

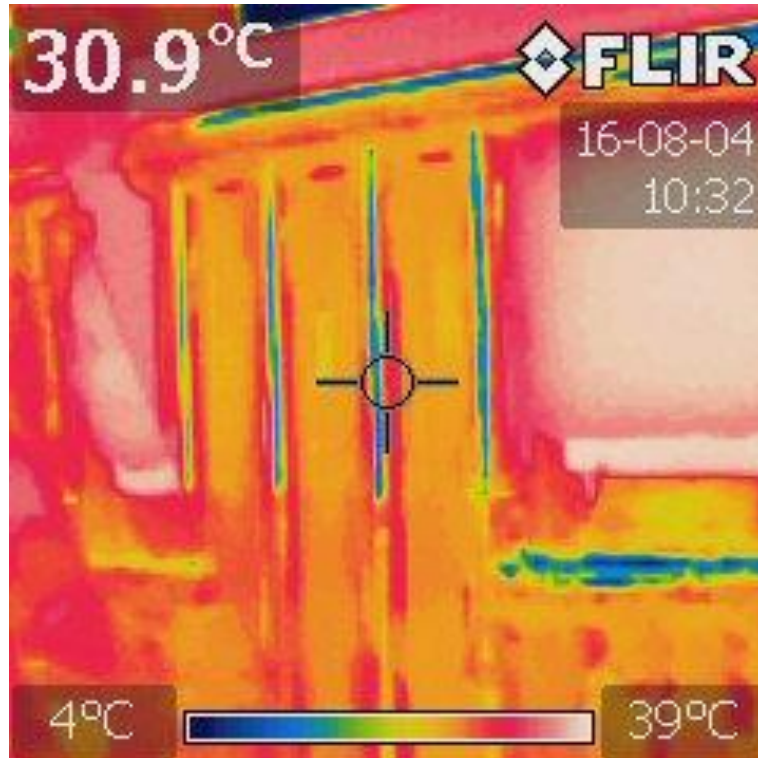
Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τη διαφορά της θερμοκρασίας με την εναλλαγή των χρωματικών αποχρώσεων, όταν η εικόνα είναι σε αποχρώσεις του μπλε σημαίνει ότι το σημείο είναι ψυχρό ενώ όσο το χρώμα αλλάζει και η αποχρώσεις του τείνουν στο κόκκινο σημαίνει ότι το σημείο αυτό είναι θερμό. Η τιμή και η διαβάθμιση της θερμοκρασίας φαίνεται στην δεξιά μπάρα της εικόνας.



Εικόνα 37: Η στιγμή που το ρευστό ρέει και γίνεται η ανακυκλοφορία.



Εικόνα 38: Μετά από παραμονή του ρευστού στο σύστημα για κάποιο χρονικό διάστημα.



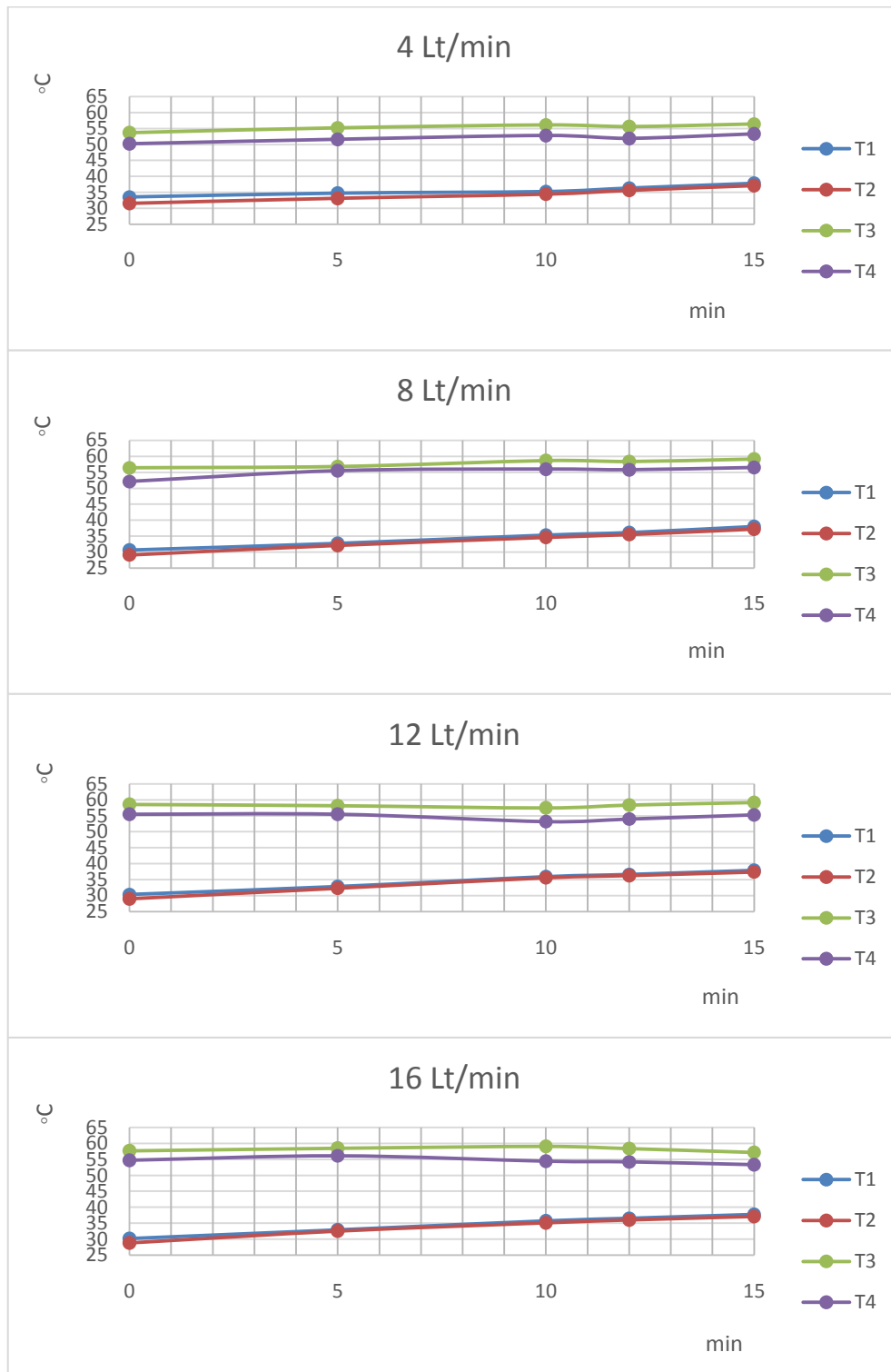
Εικόνα 39: Το σύστημα ψύξης χωρίς την παροχή ρευστού.

Θερμοκρασία

Μετράμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο σύστημα μας (T1, T2) και στο αναφοράς (T3, T4) για να βρούμε το βέλτιστο σε διαφορές παροχές και χρόνους παραμονής του νερού μέσα στο σύστημα.

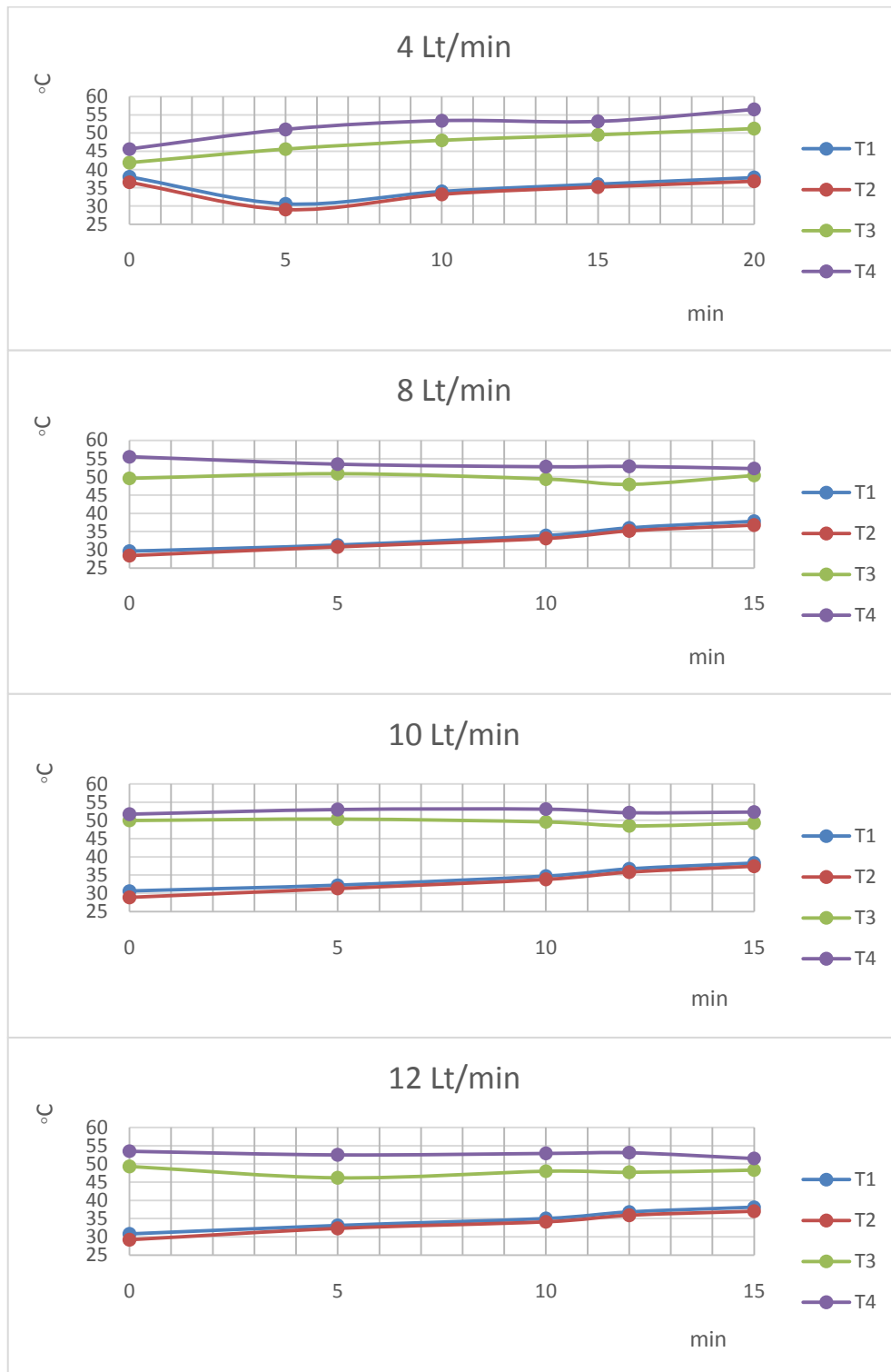
Παίρνοντας για παράδειγμα τα διαγράμματα της ημέρας 07.10.16 παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες στα σημεία T1 και T2 που είναι πάνω στο σύστημα ψύξης ότι κυμαίνονται από 30°C έως 38°C αρκετά χαμηλότερα δηλαδή από τις θερμοκρασίες T3 και T4 που βρίσκονται στο ΦΒ πλαίσιο αναφοράς και κυμαίνονται από 50°C έως 60°C. Επίσης παρατηρούμε ότι με την πάροδο του χρόνου από την στιγμή που σταματά η ανακυκλοφορία το σύστημα ψύξης απορρόφα σε μεγάλο βαθμό θερμότητα από το ΦΒ πλαίσιο μέχρι το 10^ο λεπτό κάτι που εξακολουθεί να κάνει και έπειτα από αυτό αλλά με μικρότερη απόδοση οπότε το 10^ο λεπτό είναι το βέλτιστο σημείο για την παραμονή του ρευστού μέσα στο σύστημα και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας σε σχέση με το αναφοράς κοντά στους 20 °C.

Ημέρα 07.10.2016



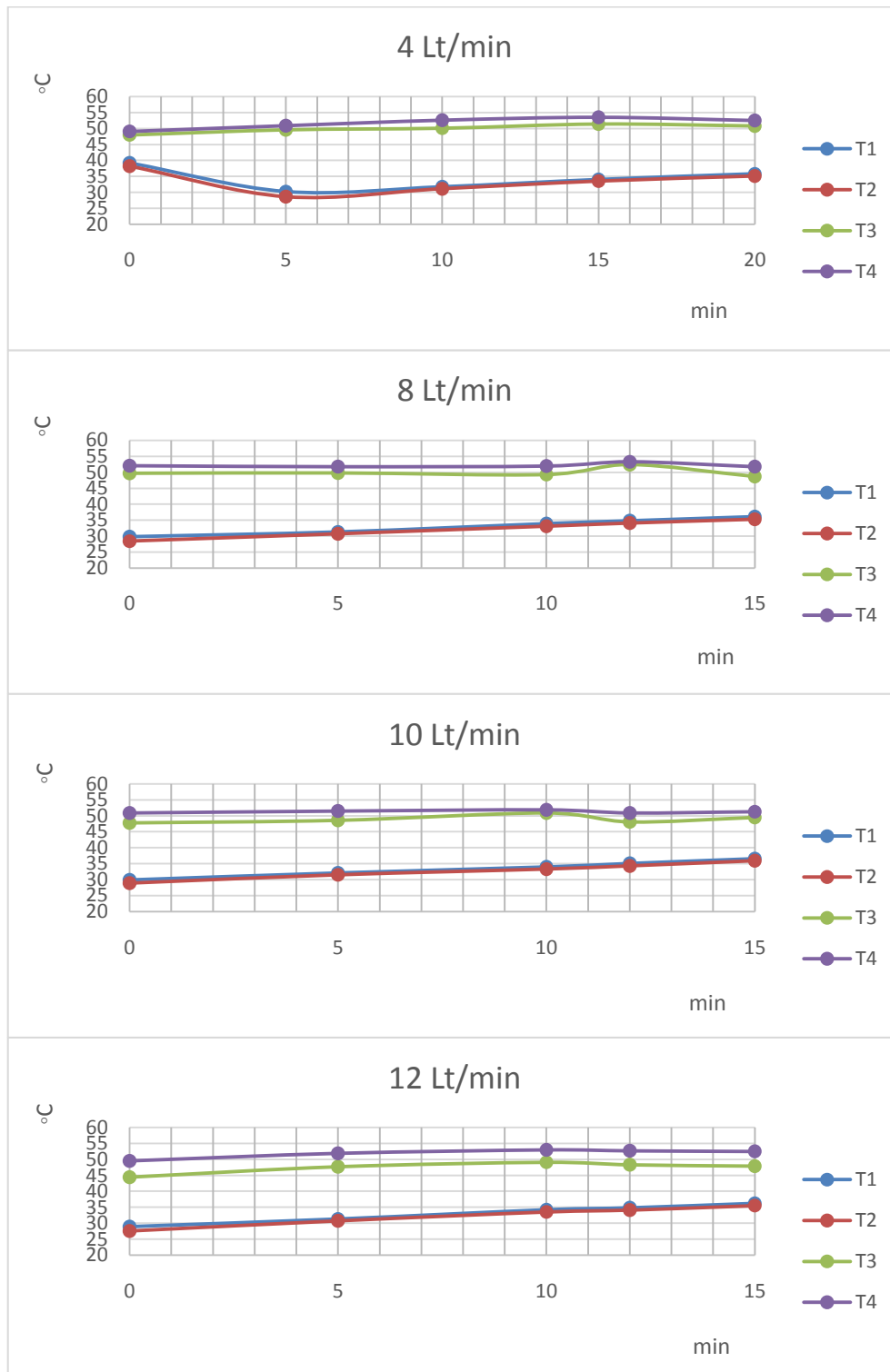
Διαγράμματα 1: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την παραμονή του ρευστού στο σύστημα ψύξης σε διάφορες παροχές ρευστού και του ΦΒ πλαίσιο αναφοράς .

Ημέρα 13.10.2016



Διαγράμματα 2: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την παραμονή του ρευστού στο σύστημα ψύξης σε διάφορες παροχές ρευστού και του ΦΒ πλαίσιο αναφοράς .

Ημέρα 14.10.2016

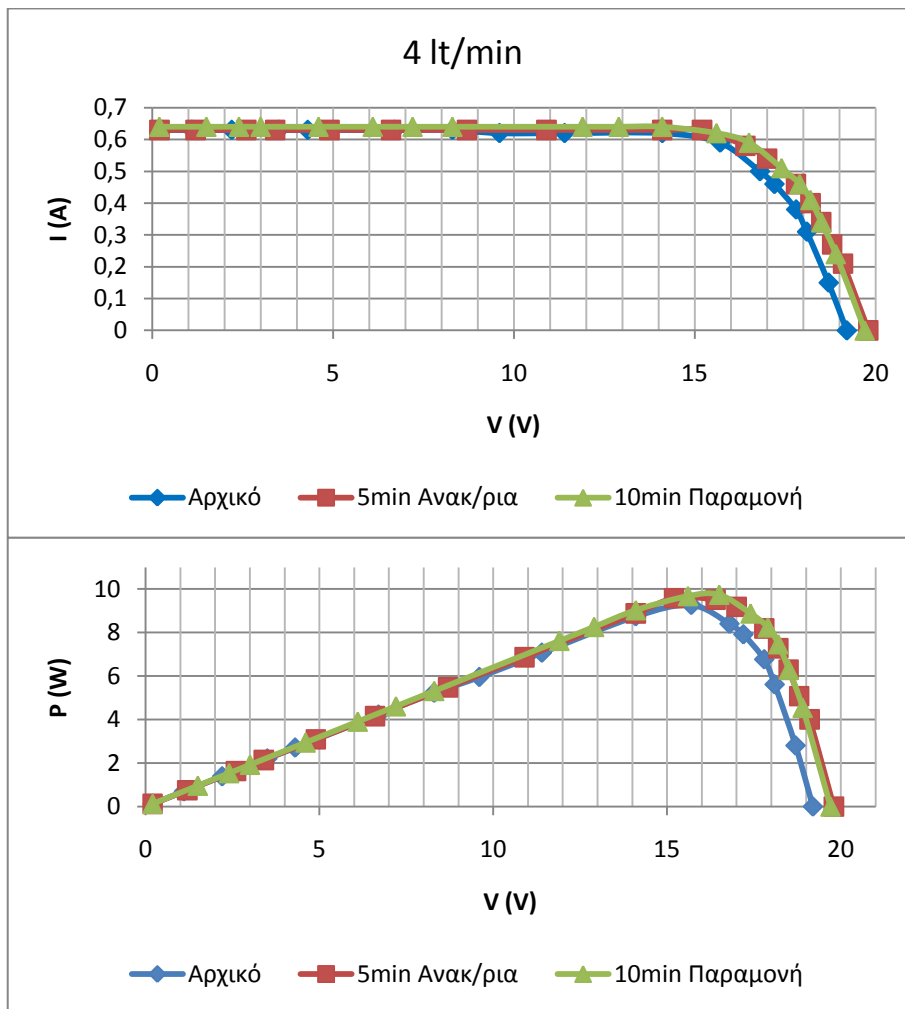


Διαγράμματα 3: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την παραμονή του ρευστού στο σύστημα ψύξης σε διάφορες παροχές ρευστού και του ΦΒ πλαίσιο αναφοράς .

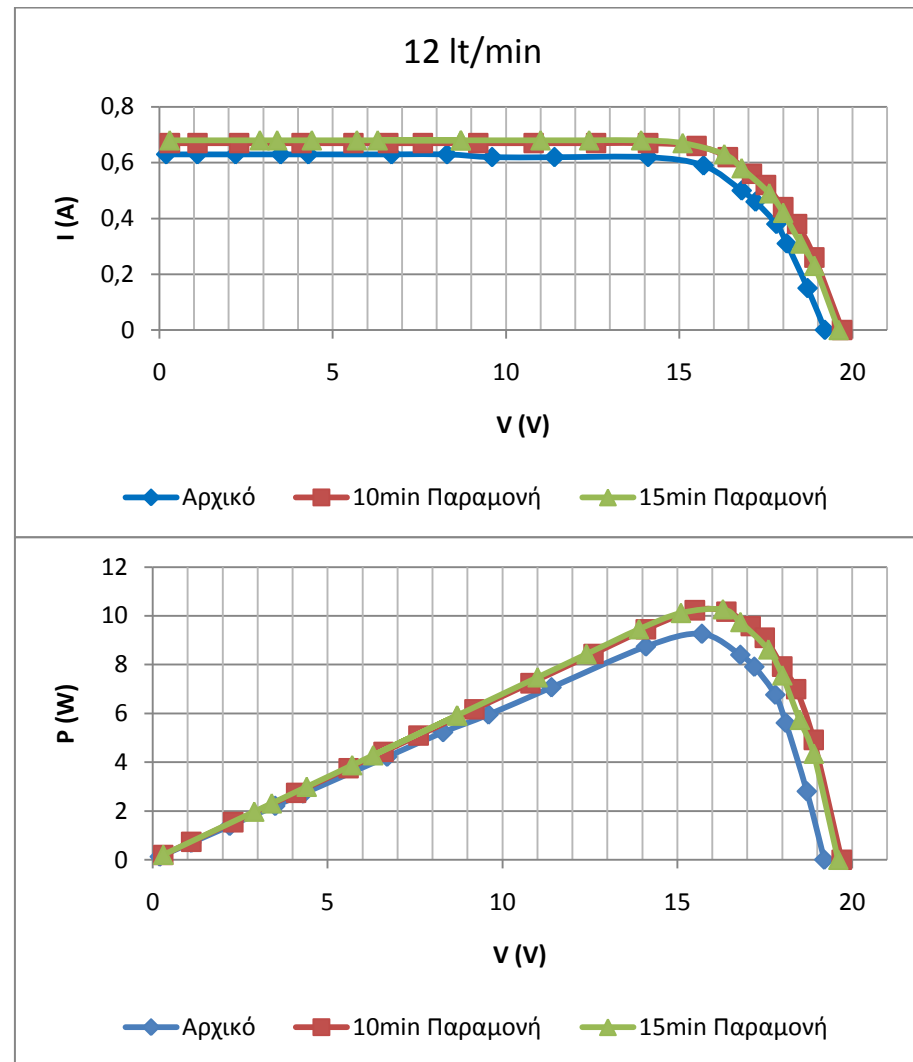
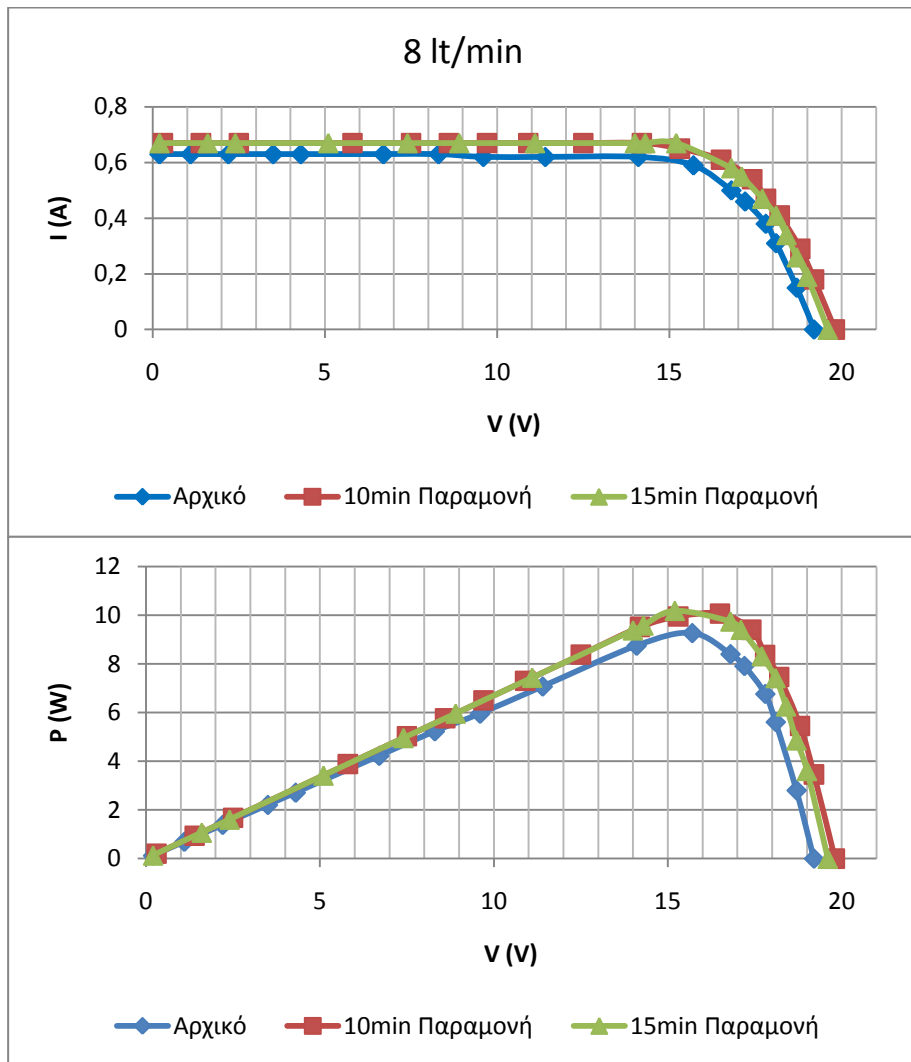
Καμπύλες (I – V) και (P – V)

Παρακάτω θα παρατηρήσουμε τη διαφορά που προκύπτει ανάμεσα στο σύστημα ψύξης μας και το ΦΒ αναφοράς τόσο στην καμπύλη I-V όσο και στην απόδοση του ΦΒ πλαισίου την εκάστοτε φορά.

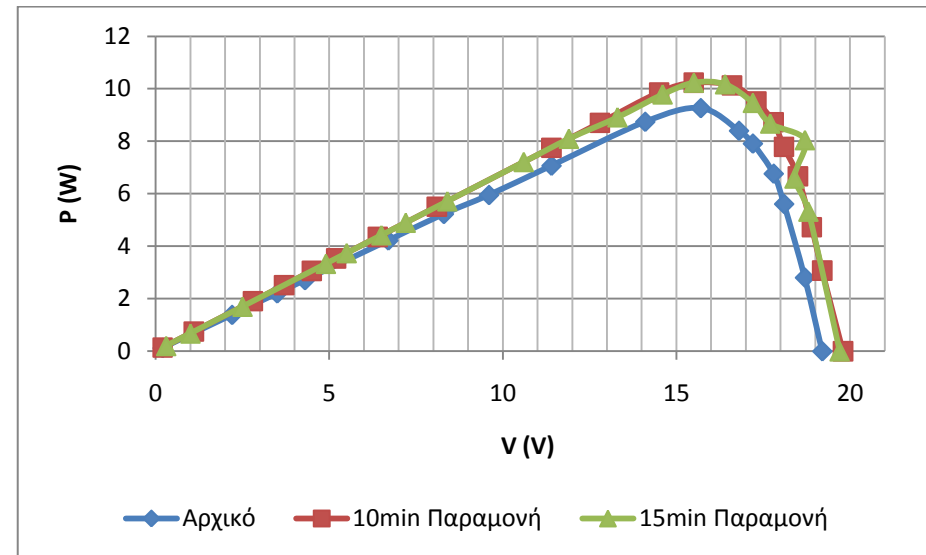
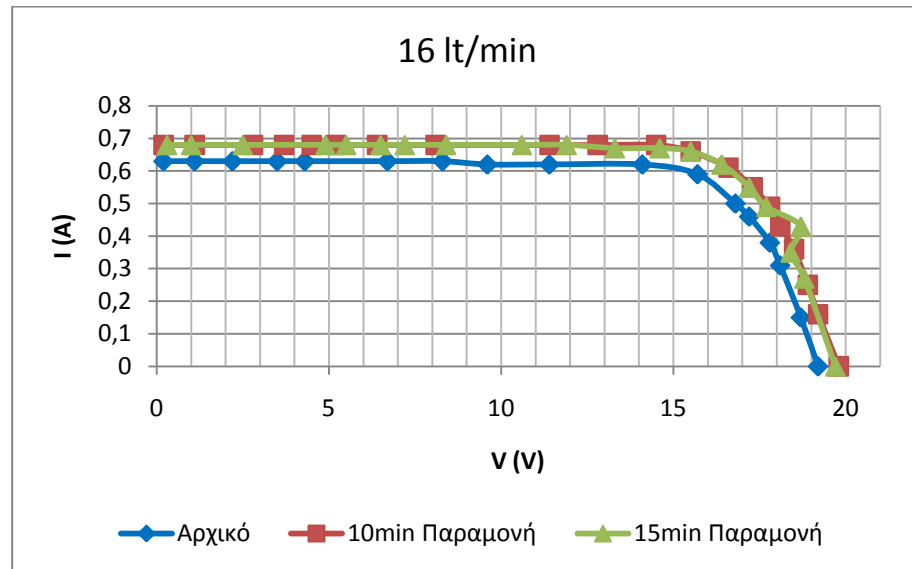
Ημέρα 07.10.2016



Διαγράμματα 4: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

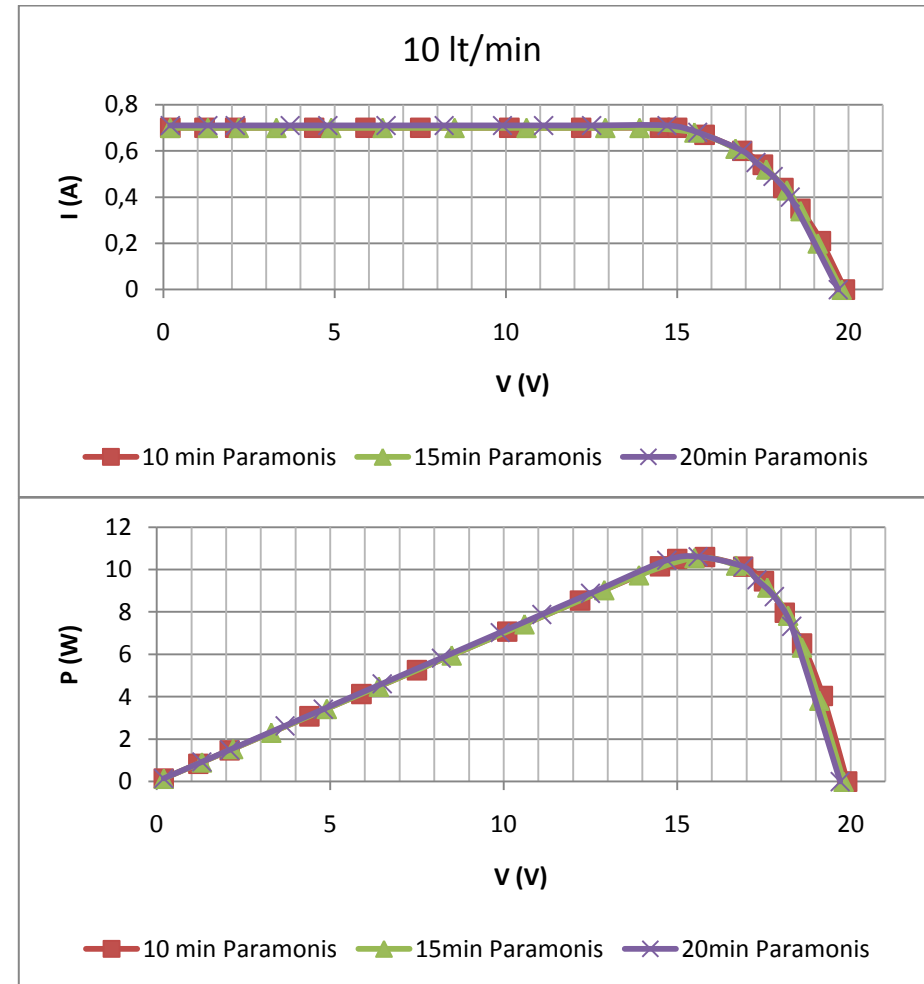
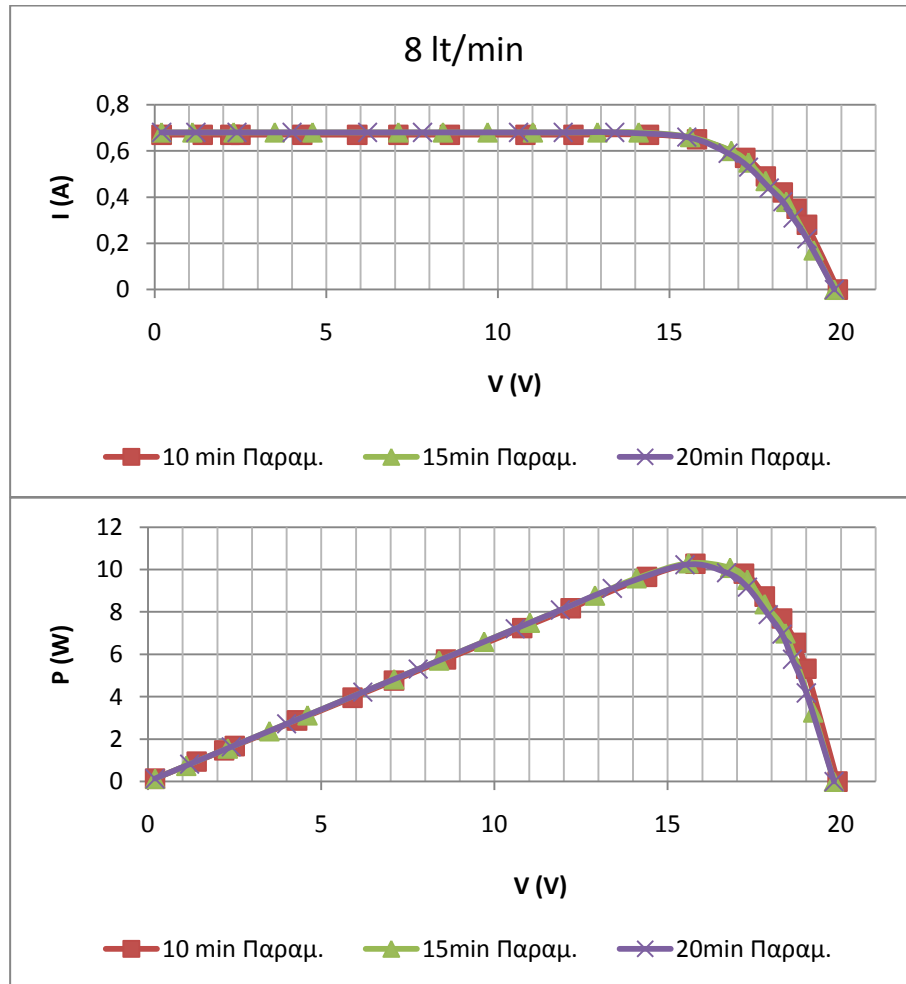


Διαγράμματα 5: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

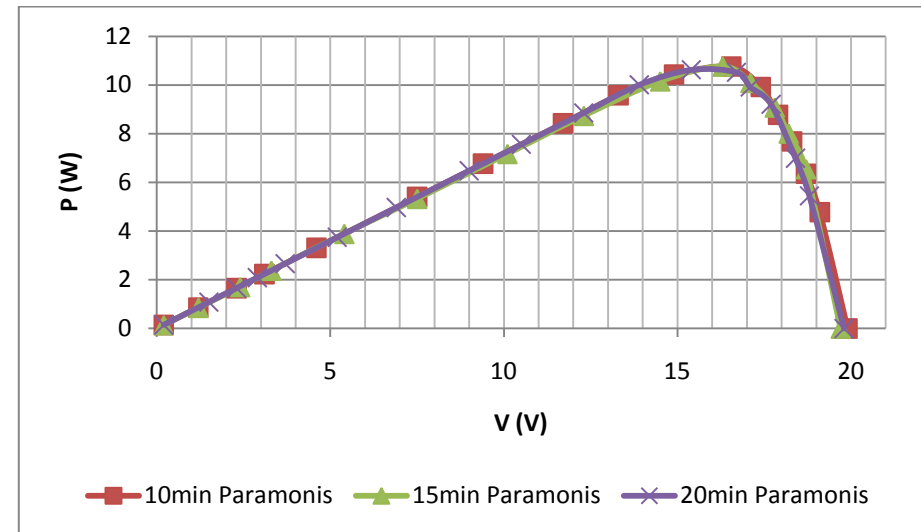
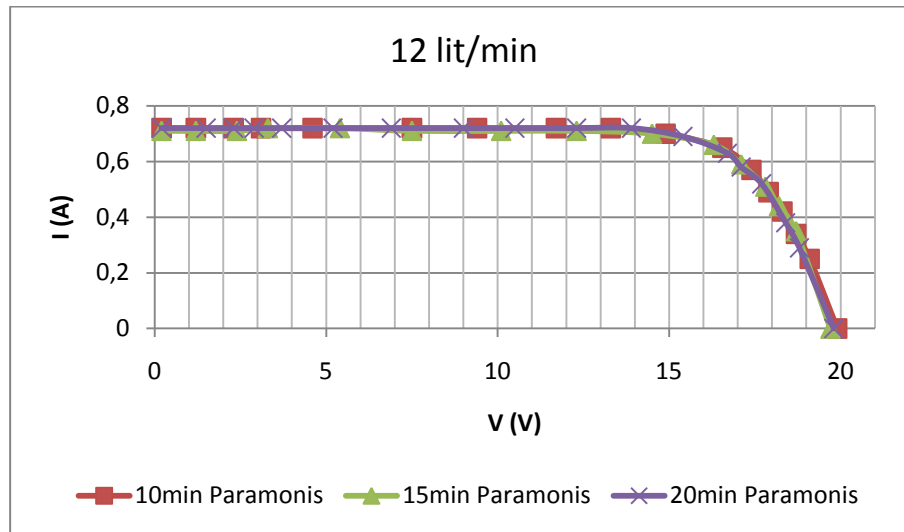


Διαγράμματα 6: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

Ημέρα 13.10.2016

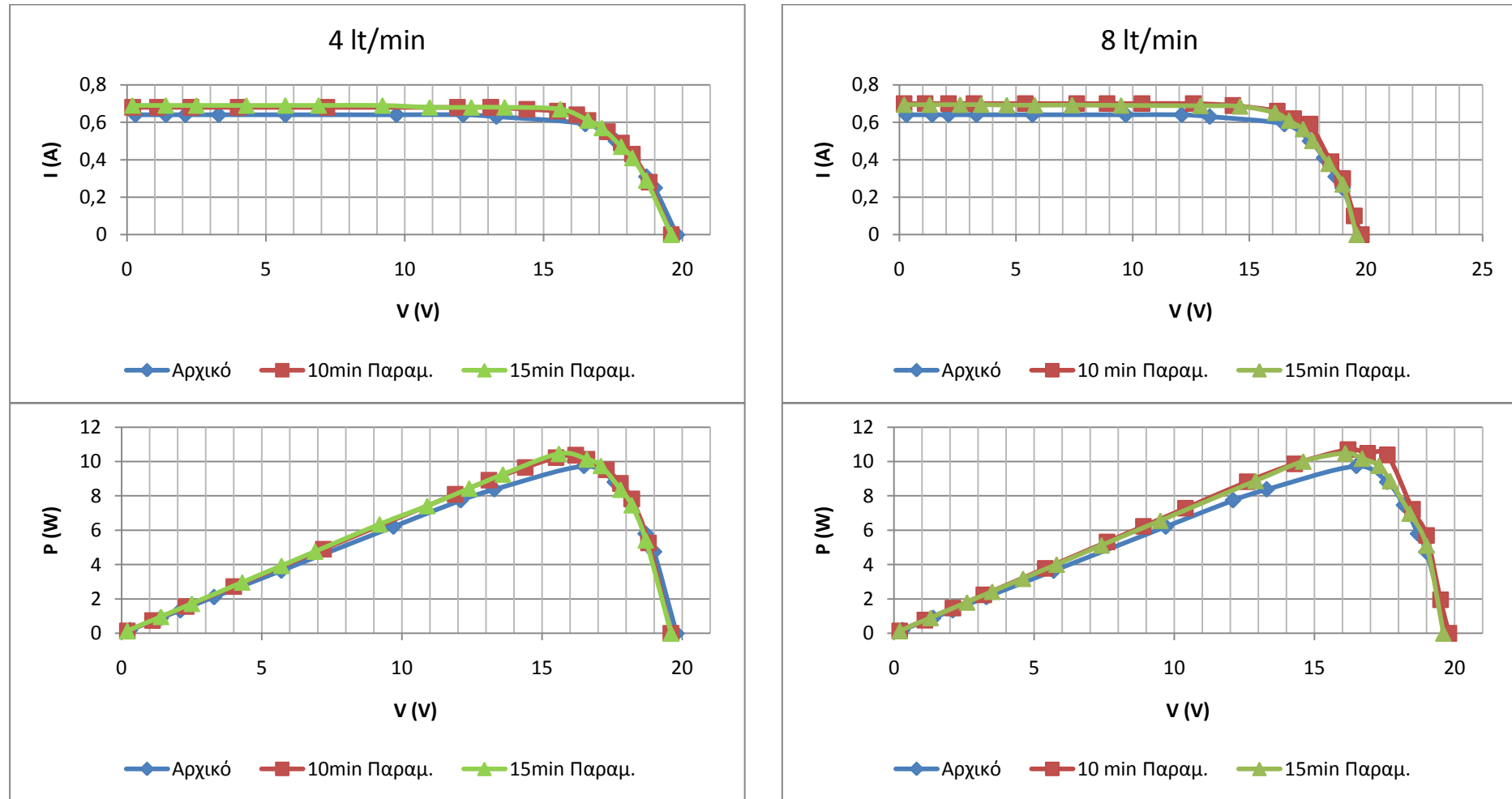


Διαγράμματα 7: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

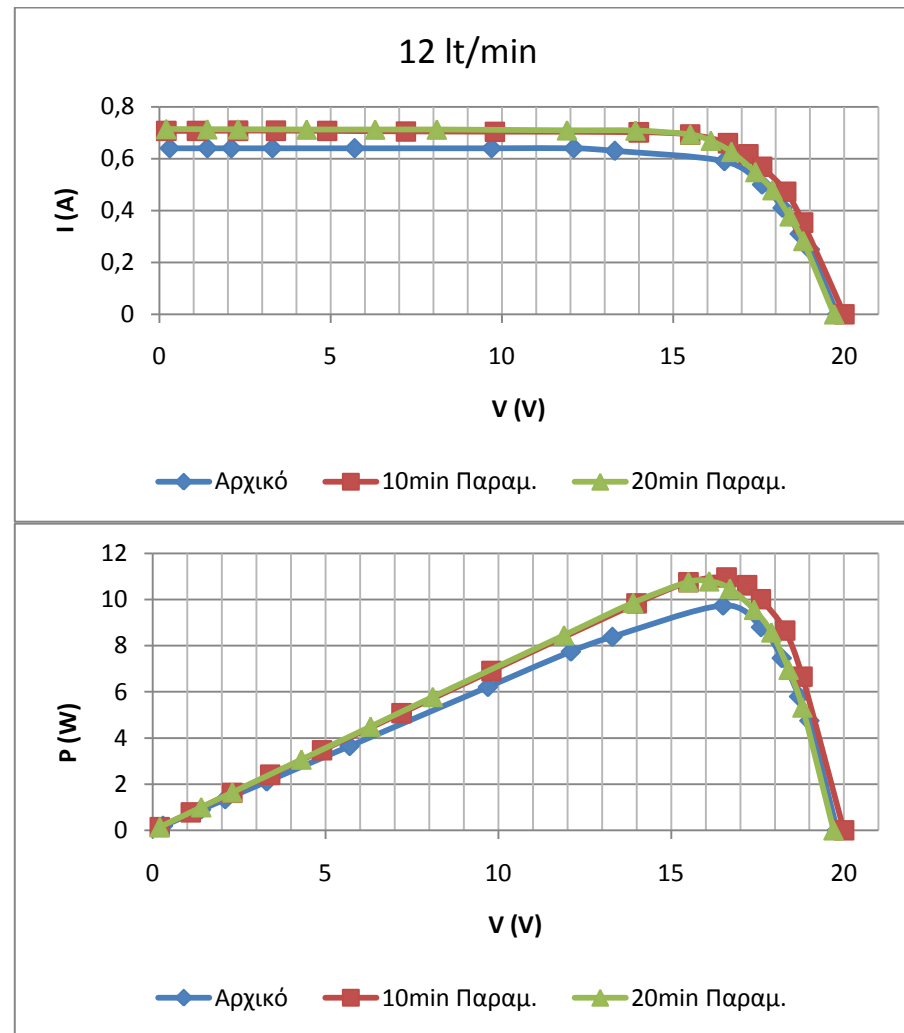
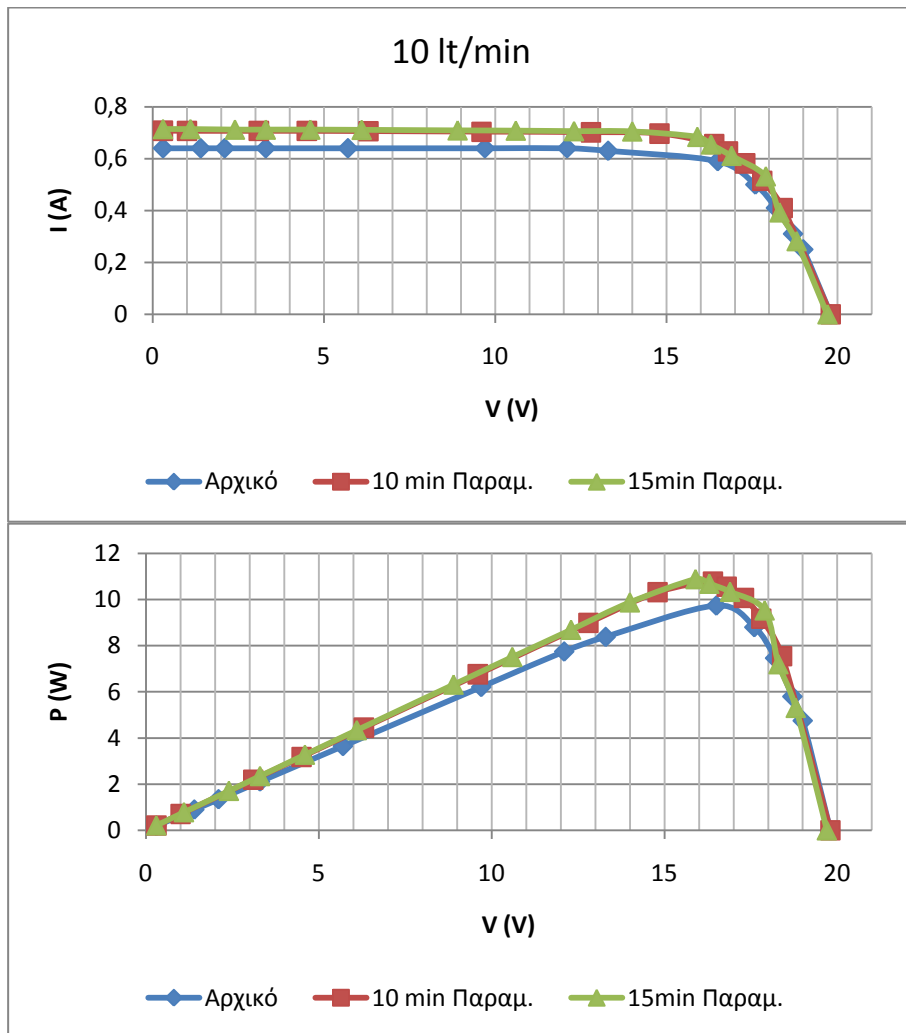


Διαγράμματα 8: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

Ημέρα 14.10.2016

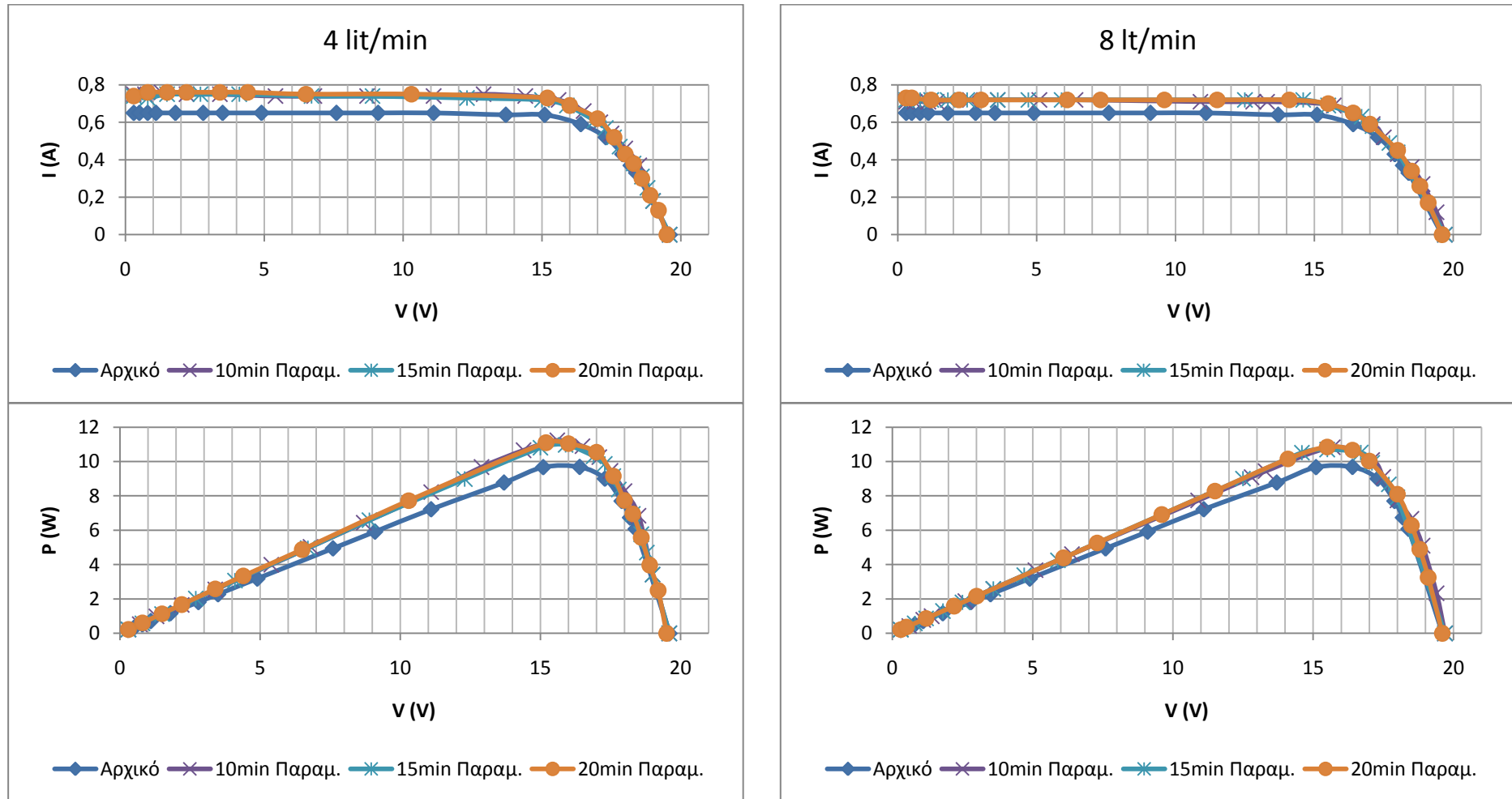


Διαγράμματα 9: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

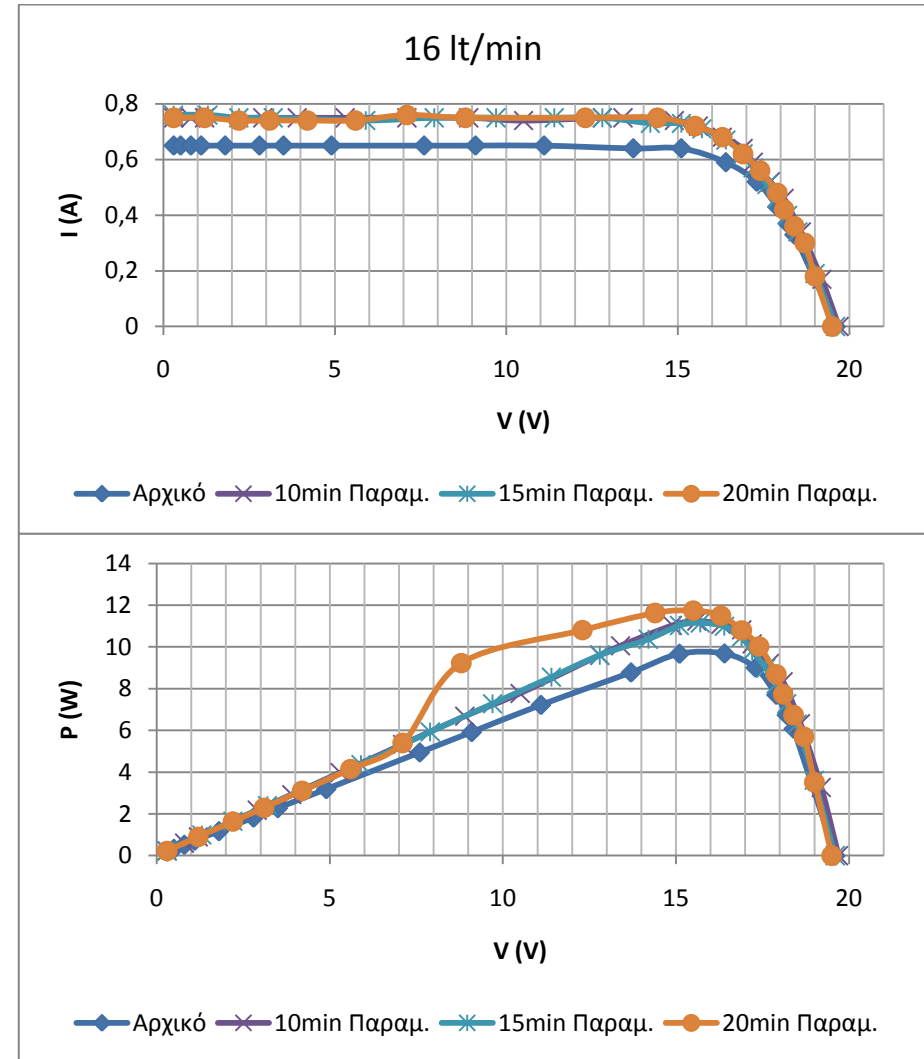
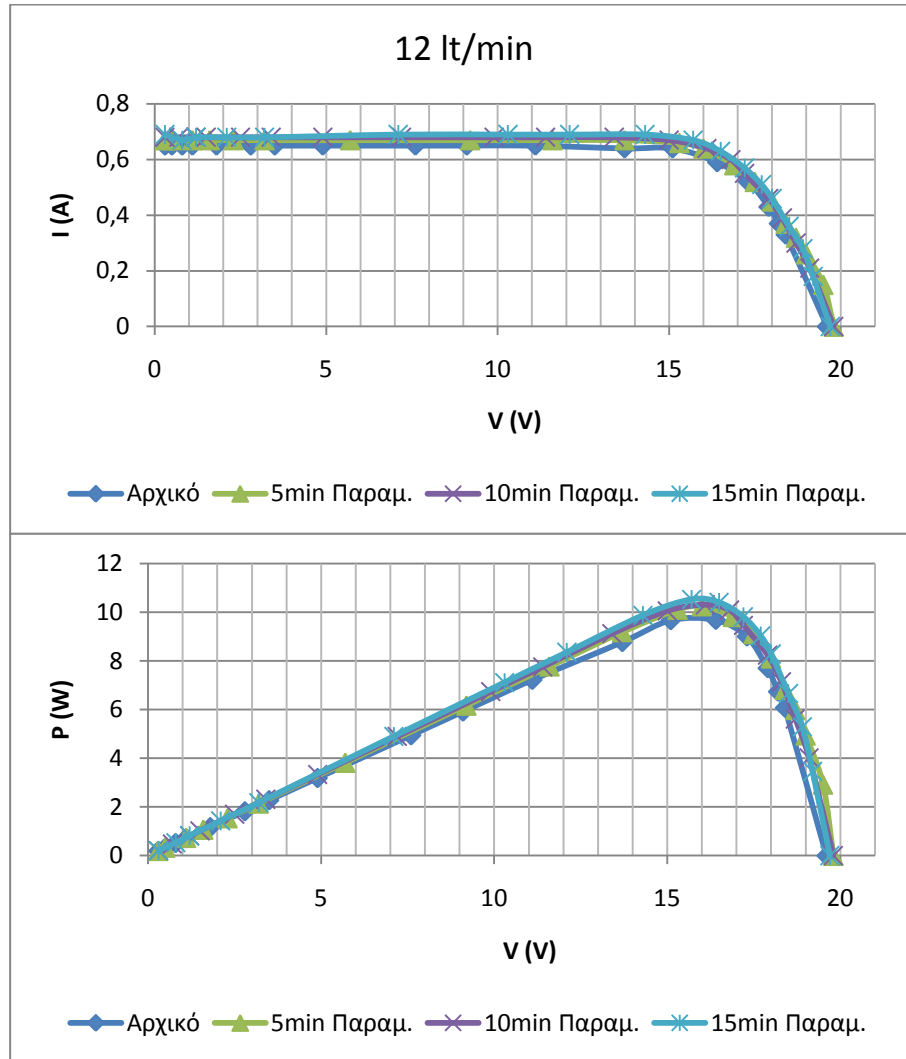


Διαγράμματα 10: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης .

Ημέρα 27.10.2016

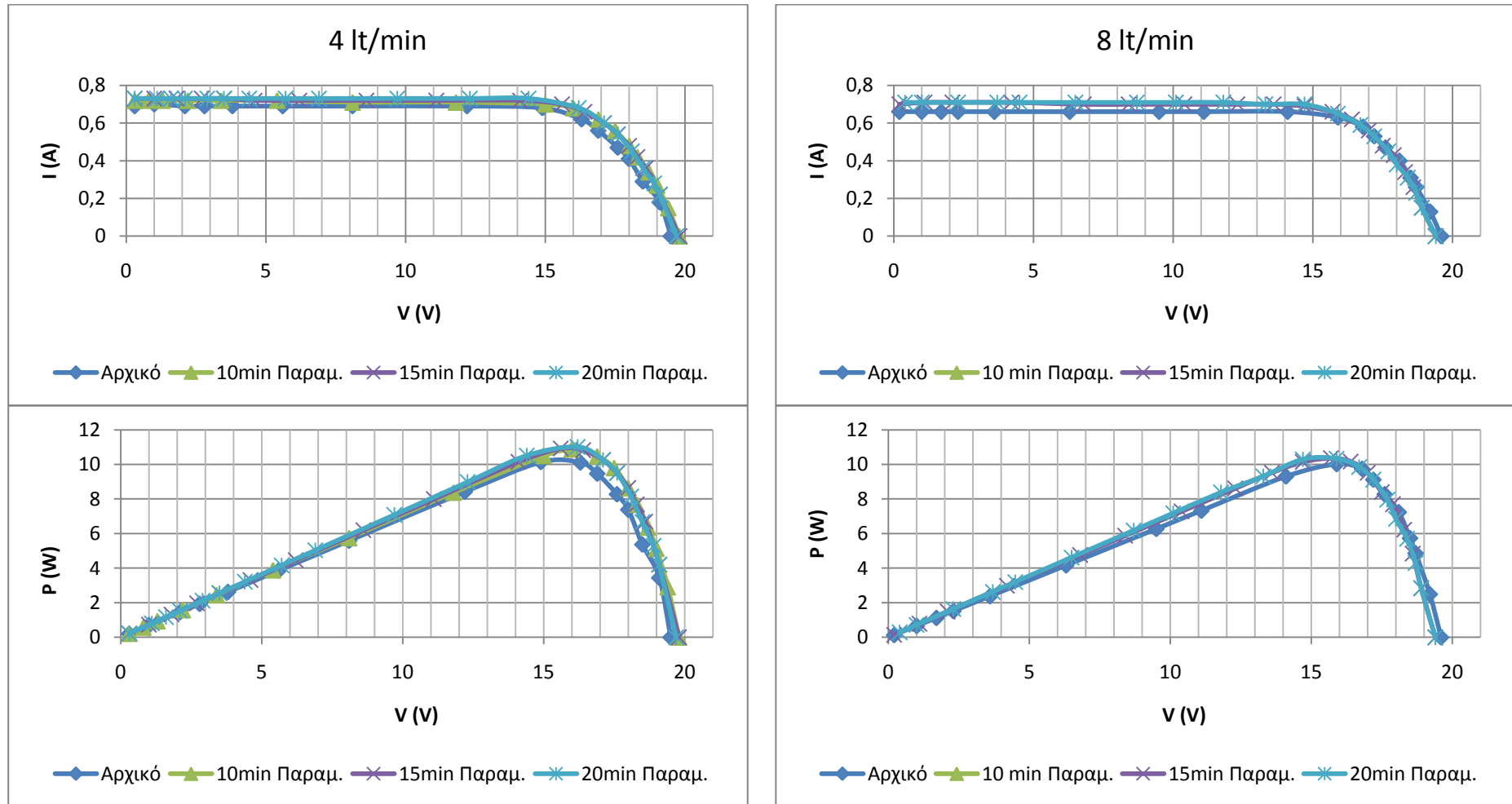


Διαγράμματα 11: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης

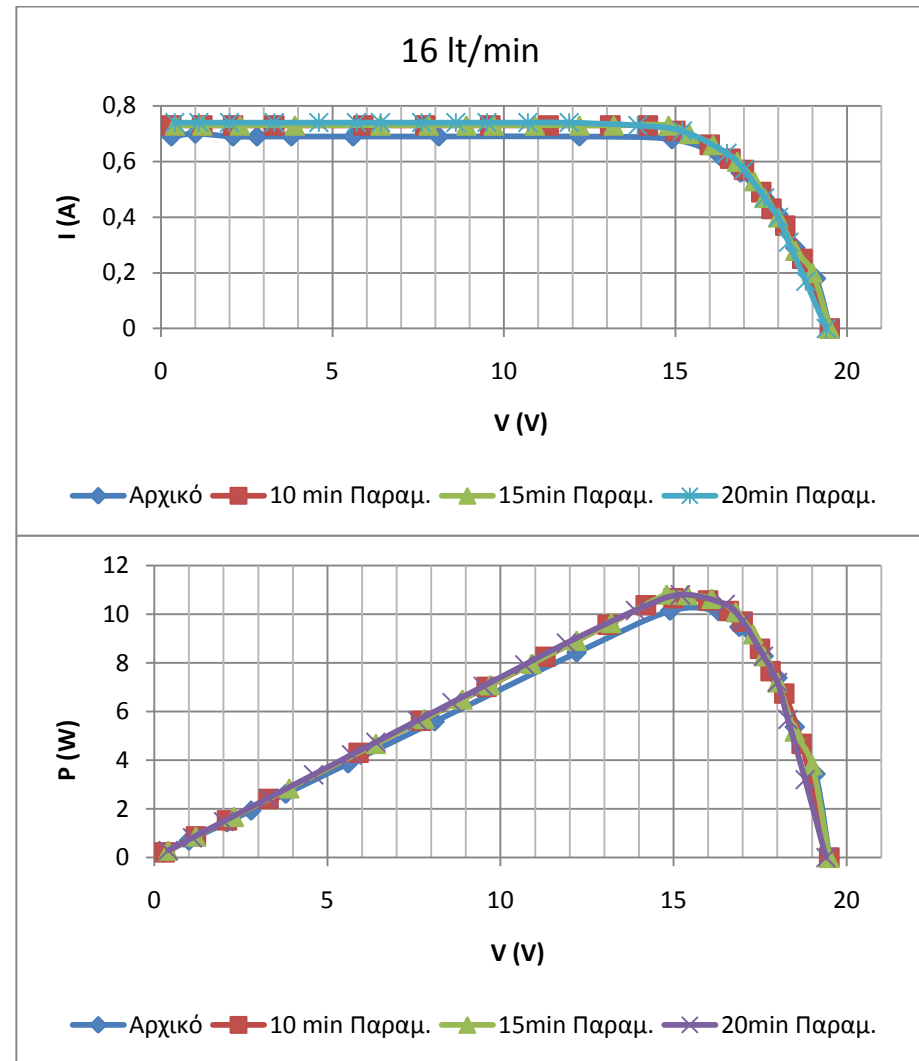
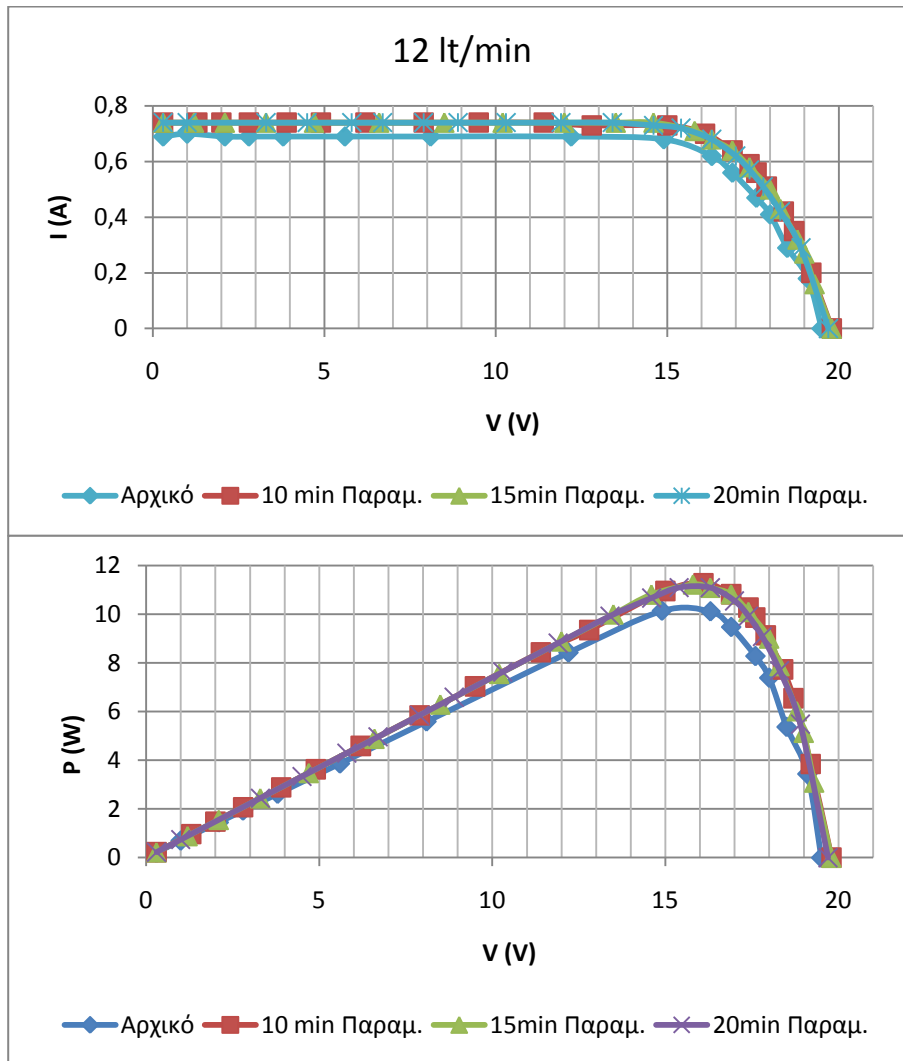


Διαγράμματα 12: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

Ημέρα 29.10.2016

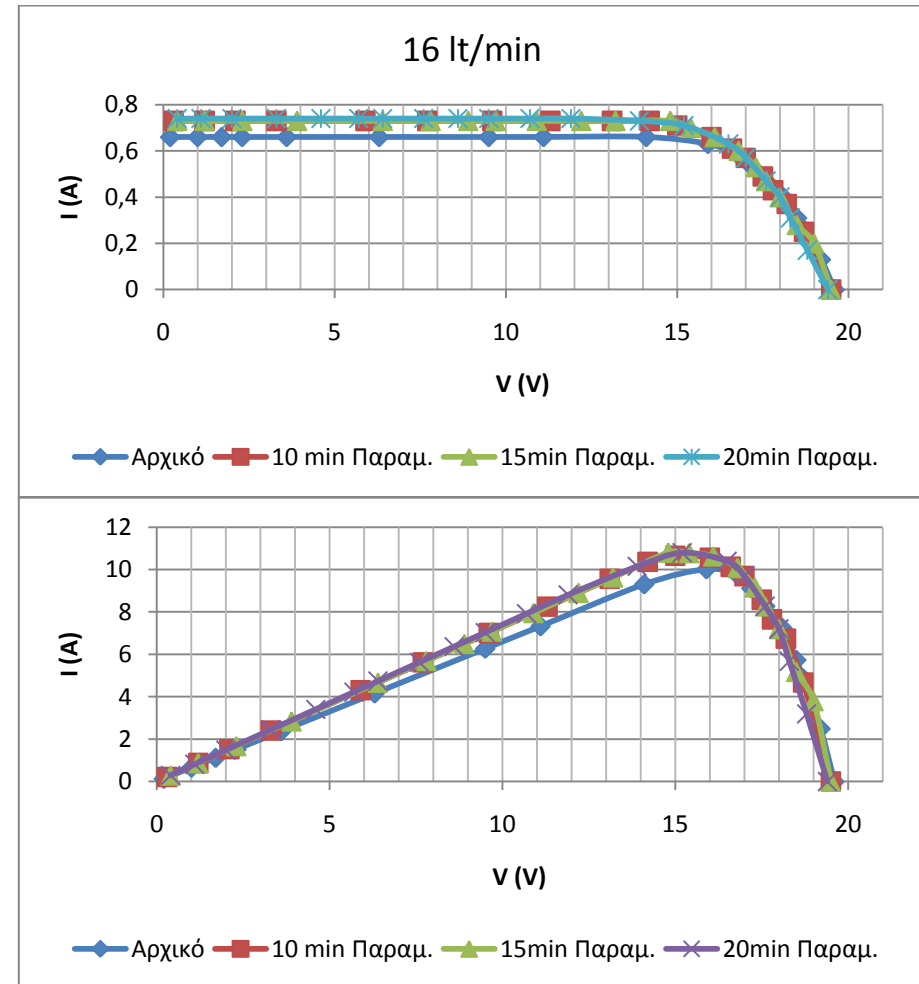
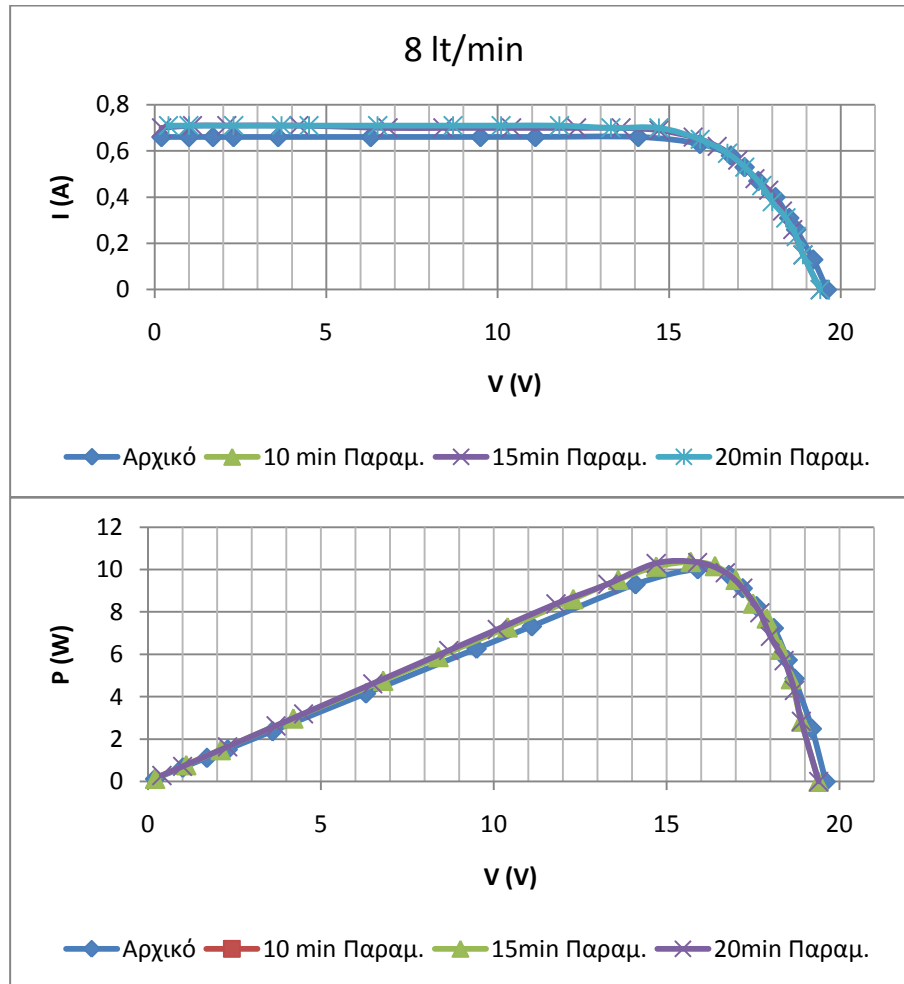


Διαγράμματα 13: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.



Διαγράμματα 14: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

Ημέρα 30.10.2016



Διαγράμματα 15: Καμπύλη I-V και καμπύλη P-V για διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος ψύξης.

Συμπεράσματα

Έχοντας κάνει πολλές δοκιμές με αρκετούς διαφορετικούς συνδυασμούς ανάμεσα στον χρόνο παραμονής του νερού στο σύστημα και της ροής που γίνεται η ανακυκλοφορία, παρατηρούμε ότι μετά τα 10 λεπτά παραμονής του ρευστού μέσα στο σύστημα ψύξης δεν υπάρχει κάποια σημαντική αύξηση της απόδοσης του ΦΒ με αποτέλεσμα να είναι άσκοπη η παραμονή του ρευστού μέσα στο σύστημα.

Το επόμενο που παρατηρούμε από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε και τα σχεδιαγράμματα I-V και P-V που δημιουργήσαμε είναι ότι η μεταβολή μετά την ροή τον 8 lt/min δεν επιφέρει μεγάλη διάφορα στην απόδοση.

Όσον αναφορά την ανακυκλοφορία του ρευστού παρατηρήσαμε όσο κάναμε το πείραμα ότι ένα χρονικό διάστημα των 5 λεπτών είναι αρκετό ώστε το σύστημα να αποβάλει την θερμότητα που έχει συσσωρεύσει και η θερμοκρασία να ελαττώνεται και να πλησιάζει κοντά στην θερμοκρασία του νερού.

Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για να έχει το σύστημα ψύξης την βέλτιστη λειτουργία με όσο το δυνατόν λιγότερη ποσότητα νερού που μπορεί να δαπανηθεί χωρίς όμως να ρίξουμε την απόδοση που μπορεί να μας προσφέρει το σύστημα πρέπει να λειτουργεί ως εξής :

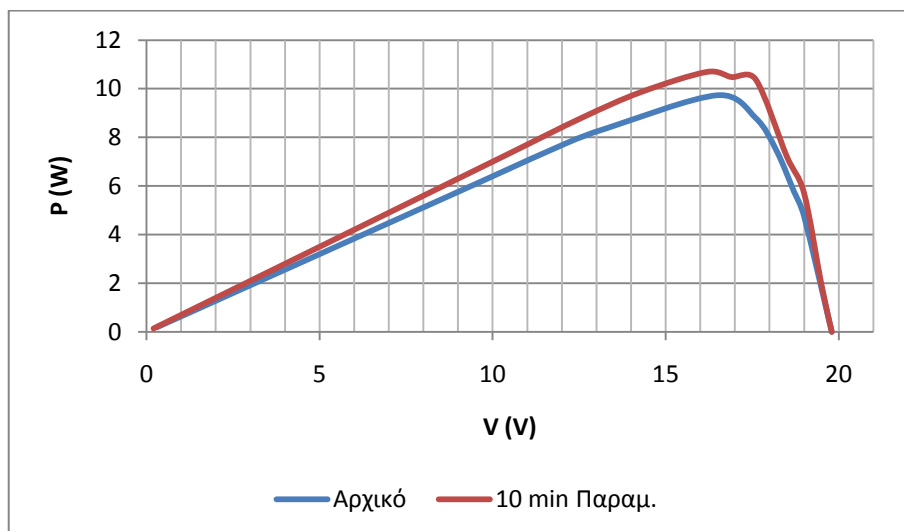
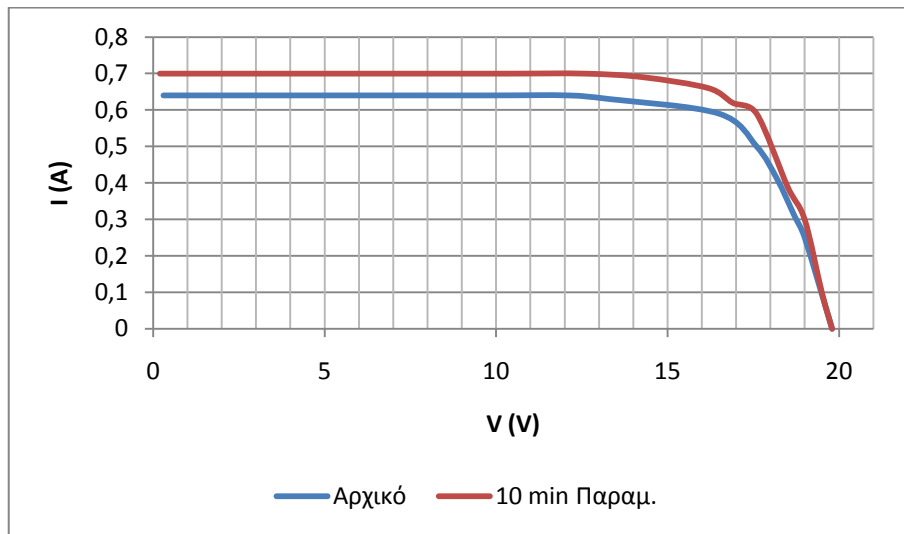
- Χρόνος παραμονής του νερού μέσα στο σύστημα 10 λεπτά.
- Χρόνος ανακυκλοφορίας του νερού 5 λεπτά.
- Ταχύτητα ροής του νερού ανακυκλοφορίας 8 lt/min.

Οι παραπάνω τιμές δεν είναι σε καμιά περίπτωση δεσμευτικές λόγω του ότι τα δεδομένα αλλάζουν αναλόγως το γεωγραφικό πλάτος και μήκος που βρίσκεται το σύστημα ψύξης αλλά και από της καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περίπτωση.

Για την εφαρμογή των παραπάνω τιμών πρέπει το σύστημα ψύξης να βρίσκεται σε γεωγραφικό μήκος ανάλογο της Κρήτης που έγιναν οι μετρήσεις μας και σε αίθριες καλοκαιρινές καιρικές συνθήκες, δηλαδή ημέρες το η θερμοκρασία του ΦΒ πλαισίου αυξάνεται σε μεγάλα επίπεδα που έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του ΦΒ πλαισίου όποτε και προκύπτει η ανάγκη για ψύξη του.

Παίρνοντας ως τυχαίο παράδειγμα την ημέρα 14.10.2016 και συγκρίνοντας το ΦΒ αναφοράς με το σύστημα ψύξης βλέπουμε μια διάφορα του 0.96 W. Κάτι το οποίο είναι αρκετά σημαντικό αν αναλογιστούμε το μέγεθος ου ΦΒ.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται και ξεκάθαρα η διαφορά αυτή.



ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει την μελέτη και τα πειράματα για την κατασκευή που είχαμε σαν ιδέα στο μυαλό μας αρχικά πριν ξεκινήσουμε και έχοντας παρατηρήσει αντίστοιχες κατασκευές με την ίδια φιλοσοφία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η κατασκευή μας αποδίδει μια ικανοποιητική διαφορά στην απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Το όλο θέμα τώρα είναι αν η απόδοση που κερδίζουμε που όπως είδαμε και παραπάνω είναι $\sim 1 \text{ W}$ σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο των 10 W αν αξίζει σχετικά με το κόστος κατασκευής του συστήματος ψύξης. m^2

Η κατασκευή αφορούσε στην κάλυψη ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με επιφάνεια $0,114 \text{ m}^2$, συμπεριλαμβανόμενου υλικών και εξαρτημάτων που χρειάστηκαν το κόστος ήταν στα 100€ κάτι που σημαίνει ότι το κόστος για την κάλυψη ενός τετραγωνικού μέτρου είναι 877€ , ένα ποσό το οποίο αν πάρουμε ότι ο χρόνος ζωής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι τα 20 χρόνια, τότε καλύπτεται από το κέρδος που θα έχουμε από τη μεταβολή στην απόδοση που θα προκύψει.

Το κόστος κατασκευής βέβαια μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο αν χρησιμοποιήσουμε στην θέση του χαλκού κάποιο άλλο υλικό όπως είναι το αλουμίνιο το οποίο είναι αρκετά πιο φθηνό στο εμπόριο. Εμείς αυτό δεν το κάναμε γιατί η διαδικασία και ο τρόπος συγκόλλησης του συγκεκριμένου υλικού είναι αρκετά δύσκολος και θέλει ειδικευμένο τεχνίτη ώστε να μην έχουμε διαρροές στην κατασκευή μας όταν θα βρίσκεται υπό πίεση το σύστημα με το ρευστό.

Ένα άλλο θέμα προς συζήτηση είναι η ανακυκλοφορία του νερού ή η αξιοποίηση του ανάλογα με το χώρο και το περιβάλλον που θα βρίσκεται η εγκατάσταση. Για την ανακυκλοφορία ένας πολύ απλός τρόπος είναι να υπάρχει μια δεξαμενή που από κάτω θα εξέρχεται το νερό και από πάνω θα εισέρχεται το χρησιμοποιημένο νερό λόγω του όπως ξέρουμε το ρευστό όταν ζεσταθεί μικραίνει η πυκνότητα του και ανεβαίνει στην επιφάνεια.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΝΕΧΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Φτάνοντας στο τέλος την μελέτης και της κατασκευής μπορούμε να παραθέσουμε κάποιες ιδέες για το πώς μπορεί να συνεχιστεί η μελέτη για το σύστημα ψύξης μιας και υπάρχουν κάποια σημεία που θέλουν περαιτέρω ψάξιμο.

Ένα από αυτά είναι να γίνει μια μέτρηση τόσο στις θερμοκρασίες όσο και στις καμπύλες I-V και P-V για έναν ολόκληρο έτος ώστε να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε πως μεταβάλλεται η απόδοση του συστήματος ψύξης σε μέρες με διαφορετικές καιρικές συνθήκες.

Η λειτουργία του συστήματος που κατασκευάστηκε γίνεται χειροκίνητα που σημαίνει ότι είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρουσία ενώ θα πρέπει και ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων να είναι μικρός. Αυτό σημαίνει ότι αν θέλουμε να αλλάξουμε και να καταργήσουμε την ανθρώπινη παρουσία ή να αυξήσουμε τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει το σύστημα να αυτοματοποιηθεί. Κάτι τέτοιο γίνεται ελέγχοντας με έναν ηλεκτρονικό χρονοδιακόπτη παροχής νερού την είσοδο - έξοδο του νερού αλλά και τον χρόνο παραμονής του μέσα στο σύστημα.

Μια πρόταση που υπάρχει όσον αναφορά στην συνέχιση της μελέτης είναι να μελετηθεί η ανακυκλοφορία του ή η αξιοποίηση του νερού που εξάγεται από το σύστημα ψύξης του φωτοβολταϊκού και είναι σε θερμοκρασίες όπως είδαμε κοντά στους 35°C με 40°C. Μια καλή ιδέα αξιοποίησης είναι η αποστολή του νερού για οικιακή χρήση ή στην εξαιρετική περίπτωση για ξενοδοχειακή χρήση. Από την στιγμή που ξενοδοχεία μπορούν να έχουν φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για να καλύπτουν ένα μέρος από της ανάγκες τους τότε το νερό που μπορεί να συγκεντρωθεί από αυτές της εγκαταστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορές εγκαταστάσεις του ξενοδοχείου που απαιτείται η χρήση ζεστού νερού.

Ενώ μια ακόμα ιδέα που δεν είχαμε την δυνατότητα να υλοποιήσουμε είναι η αντικατάσταση του ρευστού μας, που ήταν το νερό, με κάποιο άλλο είδος ρευστού το οποίο θα έχει μεγαλύτερη αγωγιμότητα της θερμότητας αρά θα μπορέσει να κατεβάσει ακόμα περισσότερο την θερμοκρασία του πάνελ μας και να αυξήσει την απόδοση του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φραγκιαδάκης Ι.Ε., Τρίτη Έκδοση 2009, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
2. S. Niz̆etic´, D. C̆oko, A. Yadav, F. Grubišic´-C̆abo, “Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response” , 2015.
3. Pei Gang, Fu Huide, Zhu Huijuan, Ji Jie, “Performance study and parametric analysis of a novel heat pipe PV/T system” , 2011.
4. Stefan Krauter, “Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels” , 2004.
5. M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot, G.M. Tina, P.F. Scandura, “Submerged photovoltaic solar panel: SP2” , 2009.
6. K.A. Moharram, M.S. Abd-Elhady, H.A. Kandil, H. El-Sherif, “Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling” , 2013.
7. H. Bahaidarah, Abdul Subhan, P. Gandhidasan, S. Rehman, “Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions” , 2013.
8. Ζαφειράκης Παναγιώτης, “Χρήση ανακλαστήρων σε σύστημα ηλιακής ενεργείας” , Σχόλη θετικών επιστήμων τμήμα φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών 2014.
9. <http://www.sciencedirect.com/>
10. <http://www.selasenergy.gr/history.php>
11. <http://www.allaboutenergy.gr/>
12. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>
13. <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
14. http://gneng.blogspot.gr/p/blog-page_19.html
15. http://www.selasenergy.gr/fv_panels.php

16. <https://www.scopus.com/home.uri>

17. <http://ec.europa.eu/energy/>