

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ
ΣΥΛΛΕΚΤΗ (PHOTOVOLTAIC/THERMAL COLLECTOR)**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΔΙΑΚΟΓΙΑΝΝΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ (ΤΦ 1579)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2016

Όνοματεπώνυμο: Διακογιάννης Ελευθέριος

Τίτλος: Μελέτη και κατασκευή υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη

Title: Study and construction of a hybrid photovoltaic thermal collector

Εξεταστική επιτροπή: Δρ. Κατσίγιαννης Ιωάννης (επιβλέπων)

Δρ. Καραπιδάκης Εμμανουήλ

Δρ. Κατσαμάκη Αναστασία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	
1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – ηλιακή ενέργεια	8
1.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	10
1.3 Ηλιακοί συλλέκτες	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	
2.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα	16
2.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	
3.1 Τεχνολογία των PV/T	22
3.2 Σύντομη περιγραφή των PV/T	25
3.3 PV/T στο εμπόριο	26
3.4 PV/T σε κτήρια	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	
4.1 Περιγραφή ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη	33
4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	33
4.3 Μονάδα απολαβής θερμότητας	37
4.4 Πίνακας ελέγχου	47
4.5 Ψηφιακός ελεγκτής θερμοκρασίας	52
4.6 Μεταγωγικός διακόπτης και ψηφιακό πολύμετρο	57
4.7 Ηλεκτροβαλβίδα, μανόμετρο και διάφορα παρελκόμενα	60
4.8 Περιγραφή λειτουργίας του υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	
5.1 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν να ξεκινήσω την συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας και αναπολώντας την μέχρι τώρα πορεία μου θέλω να ευχαριστήσω καταρχάς την οικογένεια μου, στην οποία χρωστώ τις βάσεις του ίδιου μου του χαρακτήρα. Όλα τα προτερήματα και μειονεκτήματα ενός ανθρώπου είναι καθρέπτης τις περισσότερες φορές του οικογενειακού του περιβάλλον. Έτσι από μικρός έμαθα ότι η γνώση είναι δύναμη και αυτή η σκέψη με οδήγησε στην απόφαση μου σε ηλικία 30 ετών και με πρόσχημα την πρόσφατη εγκατάσταση μου στην πόλη των Χανίων να τολμήσω την διεύρυνση των γνώσεων μου.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου στη σχολή οι οποίοι πραγματικά με βοήθησαν ώστε να μην νιώσω άβολα σε ένα περιβάλλον όχι τόσο γνώριμο σε εμένα. Ορισμένοι από αυτούς αποτέλεσαν για εμένα έμπνευση τόσο για τις γνώσεις τους πάνω στο αντικείμενο τους όσο και για την προσωπική τους στάση στην καθημερινότητα τους. Μια στάση η οποία μου έδωσε κουράγιο να συνεχίσω τις σπουδές μου, να τις ολοκληρώσω σε σύντομο χρονικό διάστημα και μάλιστα να με ωθήσει να τις εμπλουτίσω στο μέλλον σε κάθε ευκαιρία που θα μου δοθεί.

Δεν μπορώ να μην αναφέρω τους φίλους μου και συναδέλφους μου, τόσο στην σχολή όσο και στην δουλειά μου στην Πολεμική αεροπορία. Με βοήθησαν πάρα πολύ τόσο σε γνωστικό επίπεδο αλλά κυρίως ψυχολογικά να νιώσω δυνατός για όλα. Ειδικά στους δεύτερους θέλω να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου γιατί σε ένα άκρως απαιτητικό εργασιακό περιβάλλον όπως αυτό μιας πολεμικής μοίρας αεροσκαφών F-16 με απάλλαξαν πολλές φορές από το ψυχολογικό κυρίως φόρτο της καθημερινότητας και με παρότρυναν να συνεχίσω τόσο κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών εξαμήνων όσο και στο τελευταίο εξάμηνο κατά το οποίο έκανα την πρακτική μου εξάσκηση στον χώρο της εργασίας μου.

Τέλος άφησα τους ανθρώπους στους οποίους χρωστώ την συναισθηματική και ψυχολογική μου ισορροπία σαν άτομο κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Την σύντροφο μου Δέσποινα, η οποία ξέρω ότι είναι περήφανη για εμένα, τους φίλους μου Γιώργο και Θοδωρή οι οποίοι ήταν συνοδοιπόροι σε αυτό το φανταστικό ταξίδι, τον φίλο μου Γιάννη που με τον χαρακτήρα του με έκανε καλύτερο άνθρωπο και όλους εκείνους που σαν ταινία φιλμ περνάνε μπροστά από τα μάτια μου αυτήν την ώρα που ξεκινώ να γράψω την πτυχιακή μου εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή πραγματεύεται την μελέτη και κατασκευή ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Ο παραπάνω συλλέκτης ουσιαστικά είναι ο συνδυασμός δυο ήδη υπαρχουσών τεχνολογιών, αυτής του φωτοβολταϊκού πλαισίου και αυτής του θερμικού συλλέκτη. Έτσι σε περιορισμένο χωροταξικό σχέδιο μπορούμε με κάλυψη μικρής επιφάνειας να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια την οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε διάφορες ηλεκτρικές καταναλώσεις, αλλά ταυτόχρονα και ζεστό νερό το οποίο αποτελεί αναγκαία πολυτέλεια στις μέρες μας.

Η λεπτομέρεια στο όλο παραπάνω σύστημα είναι ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ειδικά σε κλιματολογικές συνθήκες όπως αυτές της χώρας μας αποδίδει πολύ καλύτερα όταν ψύχεται, ενώ αντίθετα όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία του πλαισίου του η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται. Με την προσθήκη ενός θερμικού συλλέκτη παράλληλα σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχουμε παραγωγή ζεστού νερού, ενώ ταυτόχρονα βοηθάμε στην ψύξη του δεύτερου αφού το νερό με την θερμοχωρητικότητά του πάγει μέρος της θερμότητας αυτού βοηθώντας στην αποδοτικότερη λειτουργία του.

Έτσι μετά την κατασκευή του προτείνεται η μελλοντική σύγκριση του υβριδικού συστήματος με ένα απλό φωτοβολταϊκό πλαίσιο αντίστοιχο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε ώστε να παρατηρήσουμε την αποδοτικότερη λειτουργία του κάτω από συνθήκες απαγωγής θερμότητας από το πλαίσιο του.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ : Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ηλιακός συλλέκτης, υβριδικός φωτοβολταϊκός/θερμικός συλλέκτης,

ABSTRACT

This thesis is related to the study and construction of a hybrid photovoltaic (PV) thermal collector in order to produce electric and thermal energy. This type of collector combines two technologies: PV panel technology and solar collector technology. As a result, by covering a small area it is possible to produce electric energy that can be used to cover various loads, while at the same time hot water can also be produced that is a necessary luxury nowadays.

The principle of operation of such a hybrid system is based on the fact that the PV panel operates more effectively when it is cooled. On the other hand, when its temperature increases the efficiency and electricity production are decreased. By adding a thermal collector in parallel to the PV panel hot water is produced, while at the same time the cooling process of the PV panel is reinforced, because water is absorbing heat of the PV, thus helping to its most effective operation.

After the construction of this system, it is proposed as a future work the comparison of the hybrid PV/thermal system with a plain PV panel with the same electrical characteristics, in order to examine the gain in efficiency of the proposed system.

KEYWORDS: Renewable energy sources, photovoltaic panel, solar collector, hybrid photovoltaic/thermal collector

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κίνητρο μου για την εκπόνηση αυτής της εργασίας ήταν το ενδιαφέρον μου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες τόσο από περιβαλλοντικής άποψης όσο και από οικονομικής αποτελούν το μέλλον της ανθρωπότητας και γενικότερα του οικοσυστήματος μέσα στο οποίο αναπτυσσόμαστε και εμείς σαν είδος. Το όλο εγχείρημα της μελέτης και κατασκευής είναι αποτέλεσμα πολλών ερεθισμάτων κατά τη διάρκεια των σπουδών μου τα οποία προήρθαν τόσο από τα μαθήματα που είχαν σχέση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και από τα αντίστοιχα μαθήματα τα οποία αναφερόντουσαν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ανθρώπου και γενικότερα των διεργασιών που εκτελούμε σε καθημερινή βάση.

Όπως είναι ευρέως γνωστό η ανάγκη για συνεχόμενη παροχή κάθε μορφής ενέργειας ανάμεσα σε αυτές και ηλεκτρικής είναι καθοριστικός παράγοντας επιβίωσης και ανάπτυξης μιας σύγχρονης κοινωνίας. Μέσα σε ένα στενό πλαίσιο παραγωγής αυτής από παραδοσιακούς φυσικούς πόρους έχουμε αποτέλεσμα τόσο την επιβάρυνση του περιβάλλοντος μας όσο και την αλματώδη αύξηση του κόστους παραγωγής της. Έτσι η στροφή μας σε νέες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, δηλαδή από πόρους θεωρητικά ανεξάντλητους, είναι μονόδρομος άμα θέλουμε να εξασφαλίσουμε την ευημερία μας και την περαιτέρω επιβίωση του εύθραυστου πλέον οικοσυστήματος μας.

Έτσι στην αρχή της εργασίας θα παρουσιαστούν απλά δεδομένα που περιγράφουν ιστορικά πότε ξεκίνησε η αναζήτηση για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς επίσης και μορφές αυτών που έχουν επικρατήσει στις μέρες μας. Στο ίδιο κεφάλαιο θα αναλύσουμε και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τον ήλιο ο οποίος αποτελεί την ανεξάντλητη πηγή του πλανητικού μας συστήματος. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τον τρόπο λειτουργίας των θερμικών συλλεκτών οι οποίοι εκμεταλλεύονται την ίδια πηγή ενέργειας, δηλαδή τον ήλιο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα κάνουμε μια πιο λεπτομερή αναφορά στον τρόπο λειτουργίας των φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών συστημάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο θα περιγράψουμε την λειτουργία υβριδικού συστήματος που χρησιμοποιεί τις παραπάνω τεχνολογίες και θα αποτυπώσουμε τις επικρατέστερες στις μέρες μας εφαρμογές του. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναπτύξουμε την διαδικασία κατασκευής του όλου συστήματος με όσο το δυνατόν λεπτομερέστατο τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – ηλιακή ενέργεια

Μετά τη δεκαετία του '70 έγινε αντιληπτό στις κυβερνήσεις πολλών χωρών πως έπρεπε να χαράσσουν διαρκώς μια σαφή πολιτική για την ενέργεια εξ' αιτίας των γνωστών προβλημάτων της εξάντλησης των ορυκτών πόρων και της επιβάρυνσης που έχει δεχτεί το περιβάλλον από την χρήση των τελευταίων. Η επιτακτική ανάγκη για στροφή προς την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έγινε τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η προβλεπόμενη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αλλά και το ιδιαίτερα υψηλό κόστος που βαθμιαία αποκτούν, οδήγησε σε ερευνητικές προσπάθειες για την εκμετάλλευση και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δηλαδή εκείνων των πηγών των οποίων η ενέργεια δεν εξαντλείται καθώς υπάρχει μια συνεχής ροή της.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (π.χ. ο ήλιος, η βιομάζα, ο άνεμος), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην έντονη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι μορφές των ΑΠΕ είναι οι εξής:

Η Ηλιακή Ενέργεια, η οποία αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την ακτινοβολία του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται σε: α) Θερμικά Ηλιακά Συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. β) Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα που αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση των κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, δροσισμό ή φωτισμό. γ) Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η Αιολική Ενέργεια που αφορά την κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και κυρίως σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η Γεωθερμική Ενέργεια, και συγκεκριμένα η θερμική ενέργεια που προέρχεται από εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

Η Υδραυλική Ενέργεια που αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε μηχανική.

Η Βιομάζα που είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Επίσης έχουμε και τα αστικά απορρίμματα με την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους.

Για πολλές χώρες οι ΑΠΕ συνιστούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας, με δυνατότητες ανάπτυξης σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το εισαγόμενο καύσιμο.

Κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος, καθώς στέλνει στη γη ενέργεια ισχύος 150×10^9 MW. Από την ενέργεια αυτή το 30% ανακλάται στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το 46% φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου μετατρέπεται σε θερμότητα και αντανακλάται με θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από το υπόλοιπο 24% το 23% δαπανάται για την εξάτμιση του νερού των θαλασσών και το απομένον 1% για την αιολική ενέργεια, την ενέργεια των κυμάτων, καθώς και την φωτοσύνθεση. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας με την παραγωγή και εγκατάσταση συσκευών αποτέλεσε καινοτομία στην ενεργειακή εξέλιξη του ανθρώπου. Ενώ η έμμεση ηλιακή ενέργεια επιδρά με φυσικές διαδικασίες στο νερό, στον αέρα και στην φωτοσύνθεση, η άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί ειδικά σχεδιασμένα και εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα προκειμένου να απορροφούν και να μετατρέπουν την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια.

Τα συστήματα συλλογής και μετατροπής ηλιακής ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Συστήματα απ' ευθείας μετατροπής της ενέργειας σε θερμότητα. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει με ενεργητικά συστήματα όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ηλιακές λίμνες, ή με παθητική συλλογή από το ίδιο το κτίριο, τα θερμοκήπια κλπ.

β) Συστήματα μετατροπής με ενδιάμεσο θερμοδυναμικό μετασχηματισμό, όπως στην αφαλάτωση νερού όπου η θερμότητα χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού και την παραγωγή ηλεκτρισμού.

γ) Συστήματα απευθείας μετατροπής σε ηλεκτρισμό, με πιο διαδεδομένο τα φωτοβολταϊκά κύτταρα στα οποία γίνεται η φωτοβολταϊκή μετατροπή.

δ) Συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια, όπως η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης, η παραγωγή H_2 με φωτοηλεκτρόλυση κλπ. Από την ενεργειακή άποψη, τα συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό είναι εν δυνάμει ικανά να καλύπτουν ενεργειακά όλες τις μελλοντικές ανάγκες του κόσμου. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η συνολική παγκόσμια κατανάλωση

ενέργειας ανέρχεται σε 56×10^{12} kWh και ισοδυναμεί στην ηλιακή ενέργεια που απορροφάται σε ένα χρόνο από μια επιφάνεια έκτασης 22000 km^2 γεγονός που σημαίνει η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση αντιστοιχεί στην ενέργεια που λαμβάνει το 0,005% της επιφάνειας της γης. Καταλήγουμε λοιπόν στο ότι η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τη γη είναι 20000 φορές μεγαλύτερη από την παγκόσμια κατανάλωση, επειδή η γη απορροφά κάθε χρόνο 10^{18} kWh.

Η χρήση της άμεσης ηλιακής ενέργειας πλεονεκτεί επειδή στην περίπτωση αυτή δεν επηρεάζεται το θερμικό ισοζύγιο της γης, όπως συμβαίνει με την κατανάλωση άλλων μορφών ενέργειας. Η θερμική επίδραση που σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία δεν αλλάζει όταν η ακτινοβολία πέφτει σε κάποιον ηλιακό μετατροπέα, αφού ο τελευταίος μετατρέπει μέρος της ακτινοβολίας ως χρήσιμη θερμότητα ή ηλεκτρισμό προτού απελευθερώσει μέρος της στο περιβάλλον ως θερμότητα. Έτσι δεν υπάρχει πλεόνασμα ή έλλειμμα ενέργειας όπως συμβαίνει με τα φυσικά καύσιμα ή την πυρηνική ενέργεια.

1.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

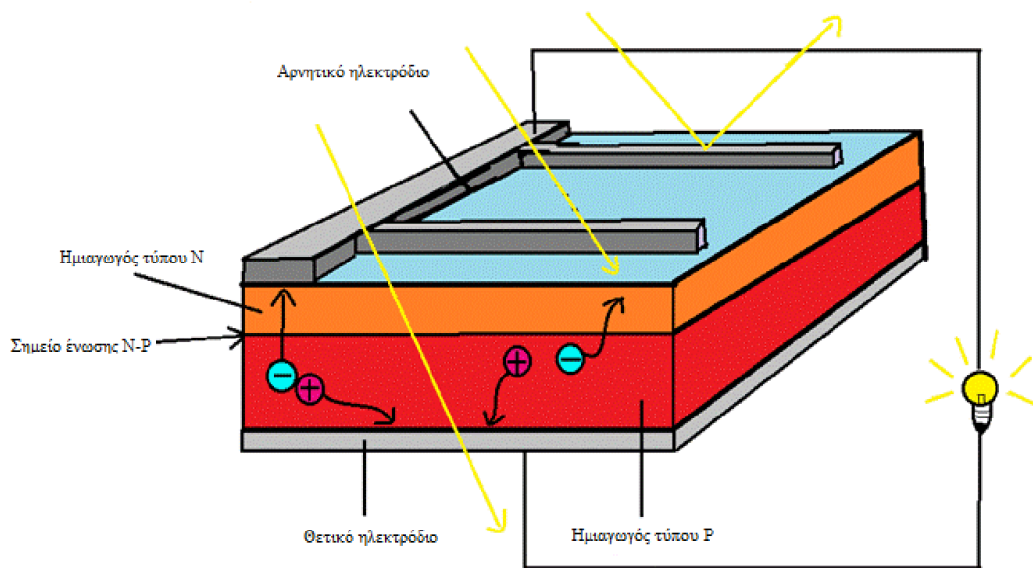
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο συνίσταται στη μετατροπή της ενέργειας που αποδίδουν τα φωτόνια του φωτός που προσπίπτουν σε ημιαγωγία υλικά (επεξεργασμένα με κατάλληλο τρόπο) σε ηλεκτρική ενέργεια ικανή να ωθήσει τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται σε ένα κύκλωμα, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ειδική επεξεργασία του αγωγού είναι απαραίτητη, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, η ενέργεια που εκχωρούν τα φωτόνια που προσπίπτουν στα ηλεκτρόνια του προαναφερθέντος υλικού θα μετατρέποταν σε άχρηστη θερμότητα μετά από μερικές συγκρούσεις των ηλεκτρονίων κατά την κίνησή τους μέσα στα άτομα.

Για να ευνοηθεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εισάγονται στο ημιαγωγίμο υλικό χημικά στοιχεία που βοηθούν στην δημιουργία πλεονάσματος ηλεκτρονίων και οπών, διαδικασία που αποκαλείται πρόσμιξη. Τα χημικά στοιχεία που βοηθούν στη πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας ονομάζονται στοιχεία πρόσμιξης.

Ένα καλό στοιχείο πρόσμιξης για το πυρίτιο (σύμβολο Si, με ατομικό αριθμό 14) που είναι ημιαγωγός με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα είναι το βόριο (σύμβολο B, με ατομικό αριθμό 5), το οποίο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από ότι το πυρίτιο. Επομένως, κάθε άτομο βορίου που ενώνεται με ένα άτομο πυριτίου, θα αφήσει κάποιο κενό στο σημείο που θα έπρεπε να υπάρχει άλλο ηλεκτρόνιο. Αυτή η δομή αποκαλείται ημιαγωγός τύπου P (θετικός) .

Άλλο στοιχείο πρόσμιξης για το πυρίτιο είναι ο φώσφορος (σύμβολο P, με ατομικό αριθμό 15). Καθώς διαθέτει ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο δεσμού από το πυρίτιο, στην αντικατάσταση ενός ατόμου του πυριτίου από άλλο του φωσφόρου στο κρυσταλλικό πλέγμα, το πλεονάζον ηλεκτρόνιο μένει ελεύθερο και ο ημιαγωγός αποκαλείται τύπου N (αρνητικός). Παρόλα αυτά, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο του κρυστάλλου εξακολουθεί να είναι μηδενικό διότι κάθε άτομο έχει τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια εξισορροπούνται τα φορτία του.

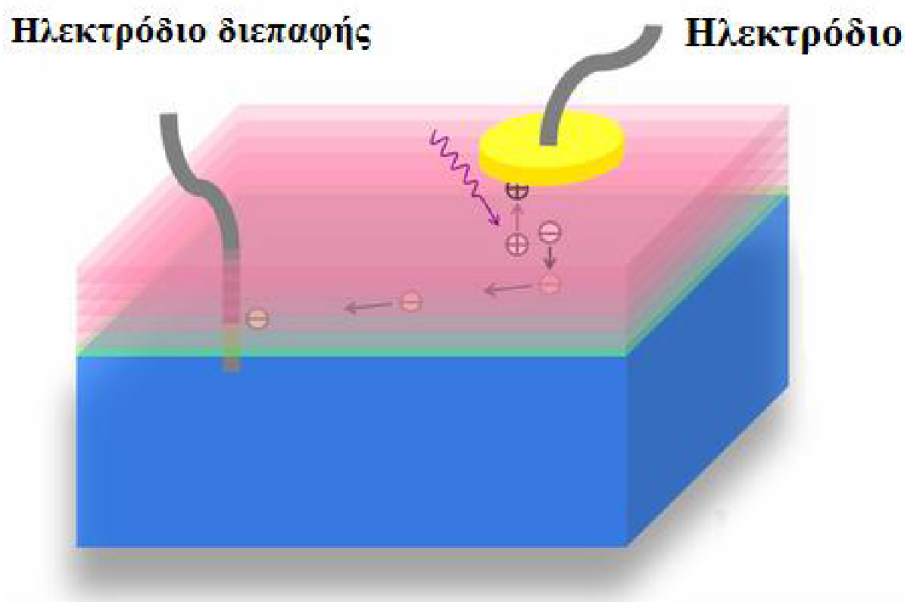


(Εικόνα 1) Σχήμα μιας ένωσης ημιαγωγού τύπου N με ημιαγωγό τύπου P

Αν ενωθεί ένας ημιαγωγός τύπου P με κάποιον ημιαγωγό τύπου N, στην περιοχή της ένωσης κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της περιοχής N θα διαχυθούν στη ζώνη P, διασχίζοντας το όριο και τοποθετούμενα στα ελευθερωμένα κενά. Έτσι η πιο κοντινή περιοχή στο όριο θα μείνει με αρνητικό φορτίο στον ημιαγωγό P και θετικό φορτίο στον N. Με αυτή τη διαδικασία, θα σχηματιστεί μια ένωση P-N όπου το ηλεκτρικό πεδίο που θα δημιουργηθεί, χάρη στο πέρασμα των φορτίων, θα δημιουργήσει ένα φράγμα δυναμικού που δεν επιτρέπει να συνεχίζεται επ' αόριστο η διαδικασία της διάχυσης των ηλεκτρονίων.

Στην περίπτωση πρόσπτωσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πάνω στην ημιαγωγική ένωση και εάν τα φωτόνια διαβιβάσουν την απαραίτητη ενέργεια στα ηλεκτρόνια ώστε αυτά να απελευθερωθούν, κάποια ηλεκτρόνια θα διασχίσουν το φράγμα δυναμικού και θα προωθηθούν έξω από τον ημιαγωγό. Εάν υπάρχει ένα εξωτερικό

κύκλωμα, μέσω του οποίου να μπορούν να κυκλοφορήσουν, θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Τα παραπάνω ηλεκτρόνια, αφού διαπεράσουν το εξωτερικό κύκλωμα, θα μπουν εκ νέου στη ημιαγωγίμη ένωση από την άλλη πλευρά.



(Εικόνα 2) Παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων σε μια ημιαγωγίμη ένωση

Δεν είναι όλα τα φωτόνια που προσπίπτουν ικανά να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια και να παράγουν ηλεκτρισμό, εξαιτίας του ότι κάποια μήκη κύματος είναι πιο κατάλληλα από άλλα, ανάλογα με τον τύπο του ημιαγωγίμου υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένη η ένωση.

Η φασματική απόκριση αποτελεί ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας κάποιου συγκεκριμένου ημιαγωγίμου υλικού να μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική, σε καθορισμένο μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για παράδειγμα σε μια κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου, η αποτελεσματικότητα κατά την μετατροπή είναι εξαιρετική για μήκη κύματος από 350 έως 1100 nm.

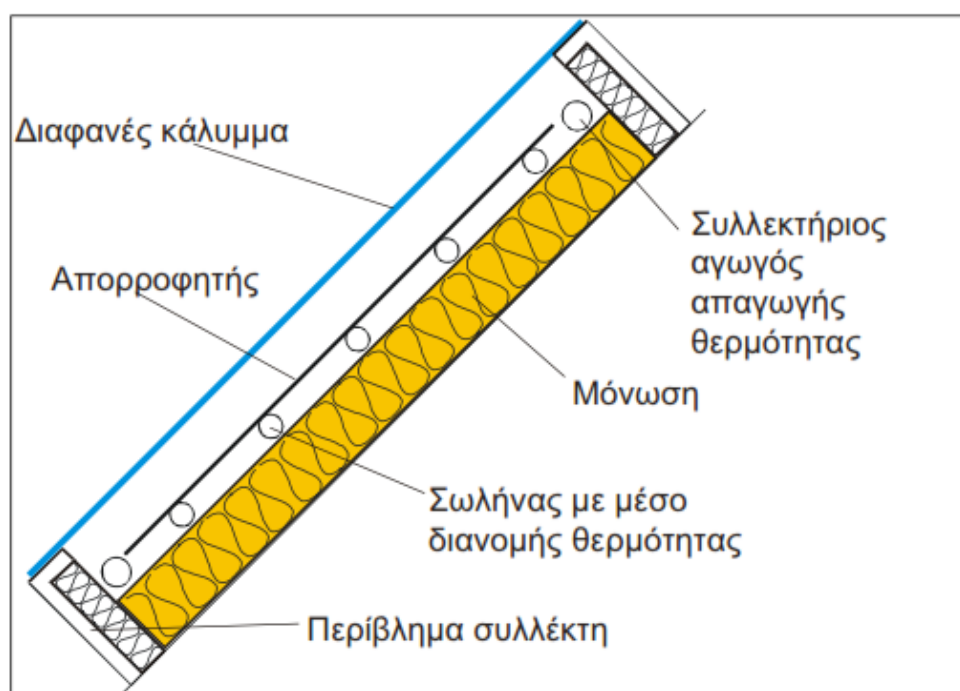
Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που φτάνει στη Γη σχηματίζεται από φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος εντός μιας ευρείας περιοχής, η απόδοση της μετατροπής είναι η συμβολή της φασματικής απόκρισης για κάθε μήκος κύματος, δίνοντας ένα συνολικό αποτέλεσμα για κάθε υλικό που χρησιμοποιείται.

Η κβαντική φυσική δίνει ως μέγιστη θεωρητική απόδοση στο κύτταρο του πυριτίου το 23% περίπου (τιμή που προσεγγίζει την απόδοση σε συνθήκες εργαστηρίου)

παρόλο, που όταν πρόκειται για εμπορικές κυψέλες κατασκευασμένες με βιομηχανικές διαδικασίες, η παραπάνω τιμή δεν ξεπερνά συνήθως το 20%.

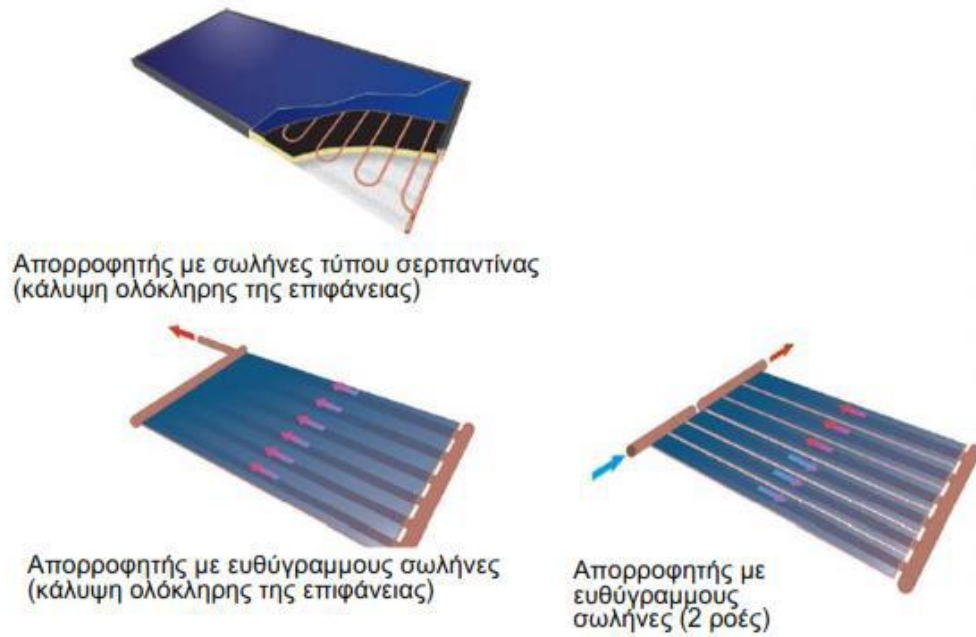
1.3 Ηλιακοί συλλέκτες

Οι συνηθισμένοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από ένα ή δύο διαφανή καλύμματα που επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα χωρίς να επιτρέπουν την έξοδο της θερμικής ακτινοβολίας, από ένα στρώμα αέρα και από μια μαύρη επιφάνεια που απορροφά την ακτινοβολία που πέφτει πάνω της και θερμαίνεται. Κάτω από τη μαύρη επιφάνεια μέσα σε κατάλληλους σωλήνες κυκλοφορεί ρευστό, συνήθως νερό, που θερμαίνεται. Τέλος, πίσω από τους σωλήνες καθώς και στο πλάι τοποθετείται μόνωση με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών (Εικόνα 3).



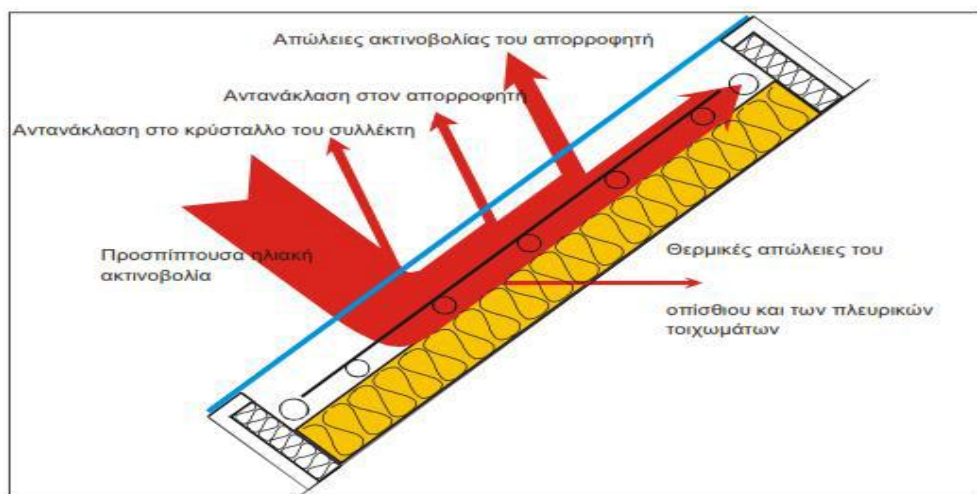
(Εικόνα 3) Διατομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Υπάρχουν διάφοροι τύποι επίπεδων ηλιακών συλλεκτών ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των σωλήνων του απορροφητή και τη ροή του ρευστού μέσα σ' αυτούς. Στην Εικόνα 4 φαίνονται μερικοί από αυτούς.



(Εικόνα 4) Τύποι επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

Υπάρχει ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην απορροφητική επιφάνεια που δεν απορροφάται από τον απορροφητή αλλά επιστρέφει λόγω ανακλάσεων. Οι απώλειες αυτές προέρχονται από ανάκλαση στον απορροφητή, ανάκλαση στο γυάλινο κάλυμμα, απώλειες με ακτινοβολία από τον απορροφητή καθώς και θερμικές απώλειες από την πίσω επιφάνεια και από τα πλευρικά τοιχώματα (Εικόνα 5). Γι' αυτό το λόγο ο βέλτιστος σχεδιασμός τους γίνεται με τη μέγιστη προσπάθεια μείωσης των θερμικών απωλειών.



(Εικόνα 5) Θερμικές απώλειες ενός επίπεδου συλλέκτη

Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συντελεστή απορρόφησης και τον συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας, στην οποία η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι κοινές μαύρες απορροφητικές επιφάνειες έχουν μεν μεγάλο συντελεστή απορρόφησης αλλά και μεγάλο συντελεστή εκπομπής και συνεπώς μεγάλο ποσοστό θερμικών απωλειών. Οι επιλεκτικές επιφάνειες, είναι επιφάνειες κυρίως μαύρες, με υψηλό συντελεστή απορρόφησης και χαμηλό συντελεστή εκπομπής, προκαλώντας έτσι μικρό ποσοστό θερμικών απωλειών. Γι' αυτό το λόγο οι επιλεκτικές επιφάνειες έχουν καθιερωθεί και χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στους ηλιακούς συλλέκτες (Εικόνα 6).

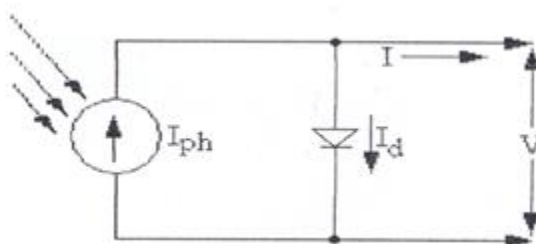


(Εικόνα 6) Επιλεκτικός απορροφητής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

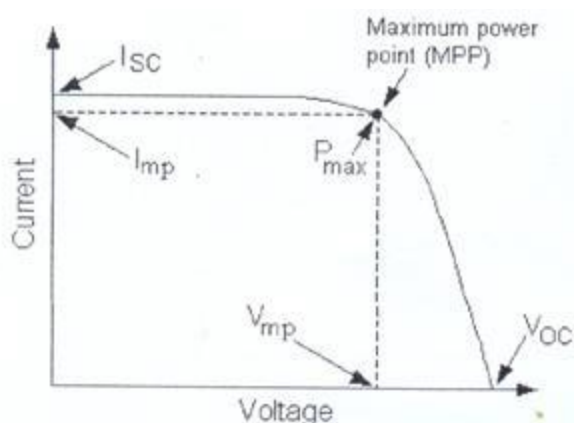
Στο ισοδύναμο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό προσομοιάζεται με μια πηγή συνεχούς ρεύματος σε παράλληλη σύνδεση με μια διόδο που αναπαριστά την επαφή p-n.



(Εικόνα 7) Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού

Όπου το ρεύμα εξόδου I δίνεται από τη σχέση: $I = I_{ph} - I_d$ ενώ το ρεύμα της διόδου δίνεται από την εξίσωση: $I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$ όπου I_0 είναι το ρεύμα κορεσμού της διόδου και αντιστοιχεί στους ελεύθερους ηλεκτρικούς φορείς που μπορούν να κινηθούν δια μέσου του φράγματος δυναμικού με την επίδραση της θερμικής ενέργειας, q είναι το στοιχειώδες φορτίο, k είναι η σταθερά Boltzmann και T είναι η απόλυτη θερμοκρασία της κυψελίδας.

Μια χαρακτηριστική I-V οποιουδήποτε φωτοβολταϊκού συλλέκτη δείχνεται παρακάτω στην Εικόνα 8:

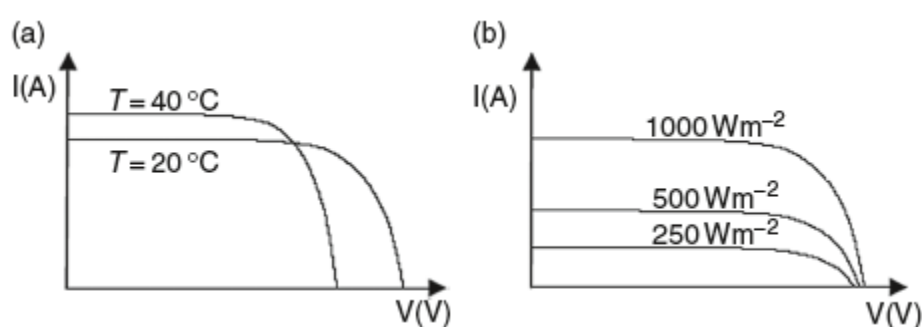


(Εικόνα 8) Χαρακτηριστική I-V.

Η καμπύλη αυτή αντιστοιχεί σε σταθερή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας λειτουργίας των κυψελίδων.

Υπάρχει ένα σημείο P_{\max} στην καμπύλη I-V, στο οποίο το γινόμενο $V_{mp} \cdot I_{mp}$ είναι μέγιστο κι έτσι το σημείο αυτό αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ του συλλέκτη για τις συγκεκριμένες επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V από οποιοδήποτε φωτοβολταϊκό κύτταρο εξαρτάται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία λειτουργίας των κυττάρων. Η ηλεκτρική απόδοση ενός ηλιακού κυττάρου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του, κυρίως εξαιτίας της μείωσης της τάσης ανοιχτού κυκλώματος. Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου προκαλεί αύξηση του ρεύματος βραχυκυκλώσεως, αλλά περιορισμένα (Εικόνα 9).



(Εικόνα 9) Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για διαφορετικές θερμοκρασίες και εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων μειώνεται το ενεργειακό χάσμα στο εσωτερικό του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα τη μείωση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος αλλά την απορρόφηση μεγαλύτερου ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς την αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται στο διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα με το κεντρικό εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο και το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Η απλούστερη μορφή του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος αποτελείται απλώς από φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το οποίο τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε οικιακές ή γεωργικές εφαρμογές άντλησης νερού. Σε άλλες περιπτώσεις το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας στις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται μετατροπέας (inverter) ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε

μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική ηλεκτρογεννήτρια ή ανεμογεννήτρια (υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα).

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς (φωτοβολταϊκά πάρκα) όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η μπαταρία, ο ρυθμιστής τάσης και ο μετατροπέας DC/AC (inverter). Στην Εικόνα 10 περιγράφονται τα βασικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος.



(Εικόνα 10) Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα ενσωματωμένο σε κτίριο

Στην Εικόνα 11 φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο.



(Εικόνα 11) Βασικά μέρη διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος

2.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα

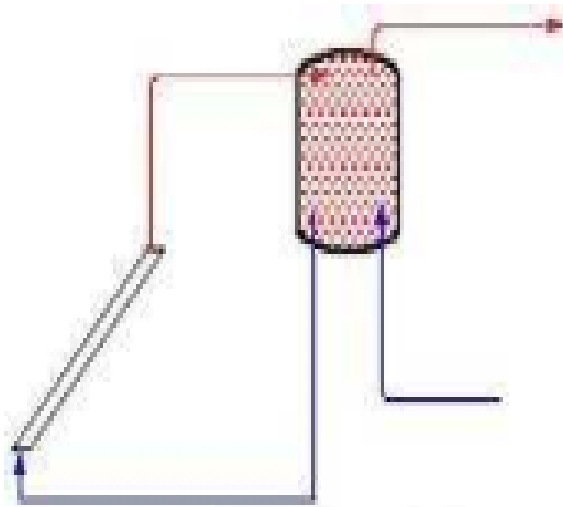
Τα θερμικά ηλιακά συστήματα είναι ενεργητικές ηλιακές εγκαταστάσεις όπου η μεταφορά της συλλεγόμενης ηλιακής θερμότητας πραγματοποιείται με κυκλοφορία θερμικού ρευστού. Η «καρδιά» ενός θερμικού ηλιακού συστήματος είναι ο θερμικός ηλιακός συλλέκτης. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στη μαύρη, μεταλλική συνήθως, επίπεδη επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, που αφήνει τις ακτίνες του ήλιου να περάσουν, αλλά εμποδίζει τη θερμότητα να ξεφύγει (φαινόμενο θερμοκηπίου). Αν κυκλοφορήσει ρευστό σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια, αποσπάται ενέργεια και αυτή μεταφέρεται με την μορφή θερμού ρευστού, σε μια θερμομονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης, από όπου θα την πάρουμε όταν τη χρειαστούμε. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, το μέγεθός τους, την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, το κλίμα της περιοχής κ.α. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν μεγάλη ποικιλία στις διατάξεις τους λόγω των διαφορετικών τρόπων που αυτά τα συστήματα προστατεύονται από τον παγετό. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα διακρίνονται ανάλογα με την θερμοκρασία αποδοτικής λειτουργίας σε χαμηλής θερμοκρασίας (μέχρι 100°C), σε ενδιάμεσης θερμοκρασίας (60°C-180°C), σε μέσης θερμοκρασίας (100°C-400°C) και σε υψηλής θερμοκρασίας (πάνω από 400°C). Στην

κατηγορία των θερμικών ηλιακών συστημάτων χαμηλής θερμοκρασίας, το ρευστό απολαβής της θερμότητας είναι το νερό, ο αέρας ή άλλο υγρό. Τα συστήματα μέσω των θερμοκρασιών περιλαμβάνουν κάποιο μέσο συγκέντρωσης της ακτινοβολίας (φακούς ή κάτοπτρα). Επίσης, τα θερμικά ηλιακά συστήματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η ροή στο σύστημα, στα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας (θερμοσιφωνικές συσκευές θέρμανσης νερού) και στα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

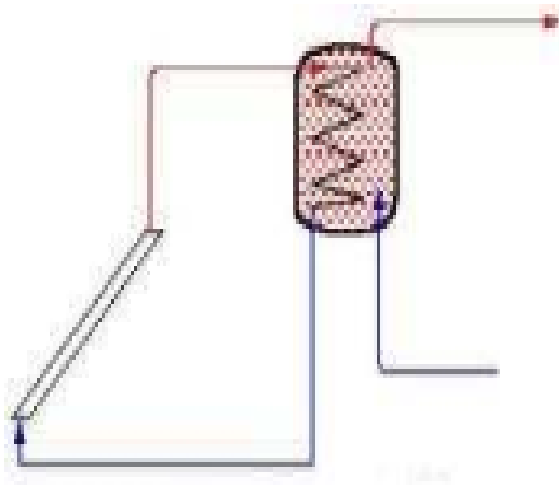
Η λειτουργία των θερμοσιφωνικών συσκευών θέρμανσης νερού με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες βασίζεται στη φυσική κυκλοφορία του νερού ή κάποιου άλλου κατάλληλου υγρού (λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και συνεπώς διαφοράς πυκνότητας), το οποίο θερμαίνεται στους συλλέκτες και αποδίδει τη θερμότητά του στο νερό του δοχείου. Έτσι, πετυχαίνεται με φυσικό τρόπο συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου, από το θερμότερο σημείο (ηλιακοί συλλέκτες) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρις ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες.

Σε αντίθεση με τα υγρά, ο αέρας ως θερμοανταλλακτικό ρευστό δεν συνηθίζεται στις συσκευές αυτής της κατηγορίας, αν και θα μείωνε το κόστος και τα λειτουργικά προβλήματα των μονάδων αυτών. Βασική αιτία γι' αυτό είναι η μικρή πυκνότητα του αέρα, που δε διευκολύνει την αποδοτική εναλλαγή θερμότητας στο κλειστό κύκλωμα συλλέκτη – δοχείο και σε συνδυασμό με τη μικρή ταχύτητα φυσικής κυκλοφορίας του, συντελεί στο να μην επιτυγχάνεται αξιόλογη απόδοση της όλης διάταξης.

Διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφωνικών συλλεκτών ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου (ανοικτού κυκλώματος και κλειστού κυκλώματος). Στα ανοικτού κυκλώματος συστήματα (Εικόνα 12) πραγματοποιείται απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης που αποθηκεύεται τελικά στη δεξαμενή (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που χρησιμοποιείται). Στα κλειστού κυκλώματος συστήματα (Εικόνα 13) πραγματοποιείται έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης μέσω εναλλάκτη θερμότητας (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που χρησιμοποιείται χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους). Οι ηλιακοί θερμοσιφωνικοί συλλέκτες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (πάγωμα και καταστροφή του συλλέκτη) καθώς δεν μπορούμε να προσθέσουμε αντιψυκτικά μίγματα, αφού το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης.



(Εικόνα 12) Ηλιακός θερμοσίφωνας ανοικτού κυκλώματος



(Εικόνα 13) Ηλιακός θερμοσίφωνας κλειστού κυκλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Τεχνολογία των PV/T

Ένα φωτοβολταϊκό/θερμικό υβριδικό σύστημα (PV/T) είναι ένας συνδυασμός φωτοβολταϊκού πλαισίου και ηλιακού θερμικού συλλέκτη, που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό και θερμότητα ταυτόχρονα. Ένας φωτοβολταϊκός/θερμικός συλλέκτης αποτελείται από φωτοβολταϊκό στο πίσω μέρος του οποίου έχει προσαρτηθεί απορροφητής. Σκοπός του θερμικού στοιχείου είναι να απάγει τη θερμότητα από το φωτοβολταϊκό και συνεπώς να το ψύχει αυξάνοντας έτσι την ηλεκτρική απόδοσή του, καθώς και να συλλέγει τη θερμική ενέργεια που παράγεται, η οποία θα μεταδιδόταν στο περιβάλλον. Η συλλεγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες.

Η ηλεκτρική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 5%-20%, ενώ η θερμική απόδοση ενός θερμικού συλλέκτη κυμαίνεται μεταξύ 30%-80%. Σε ένα φωτοβολταϊκό/θερμικό συλλέκτη η συνολική ηλεκτρική και θερμική απόδοση είναι μικρότερη απ' ό τι στην περίπτωση ενός φωτοβολταϊκού και ενός θερμικού συλλέκτη ξεχωριστά. Ωστόσο, δύο φωτοβολταϊκοί/θερμικοί συλλέκτες παράγουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας απ' ό τι ένα φωτοβολταϊκό και ένας συλλέκτης συνολικά. Συνεπώς, η χρήση φωτοβολταϊκών/θερμικών συλλεκτών είναι η πιο κατάλληλη σε εφαρμογές όπου η διαθέσιμη επιφάνεια είναι περιορισμένη.

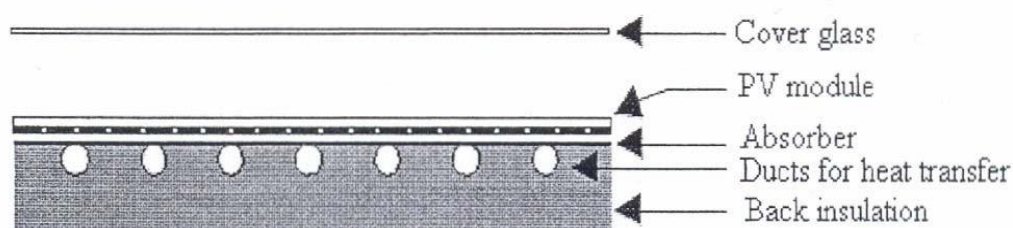
Δυο είναι οι κύριοι τύποι συστημάτων PV/T.

- Ο τύπος PV/T με χρήση νερού (PV/T/WATER).
- Ο τύπος PV/T με χρήση αέρα (PV/T/AIR).

Ο συνήθης τύπος PV/T νερού (PV/T/water) αποτελείται από έναν επίπεδο θερμικό ηλιακό συλλέκτη όπου πάνω στην επιφάνεια απορρόφησης του ενσωματώνονται κατάλληλα οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες. Η κόλλα που συνδέει τις κυψελίδες με την επιφάνεια απορρόφησης κατασκευάζεται από ειδικό υλικό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας ώστε να εξασφαλίζει την καλή μεταφορά της θερμότητας στο νερό, αλλά ταυτόχρονα να είναι ηλεκτρικά μονωτικό ώστε να προφυλάσσει τις κυψελίδες από βραχυκύκλωση. Στα συστήματα αυτά το νερό χρησιμοποιείται σαν ρευστό που απάγει την θερμότητα (Εικόνα 14).

Η πλειονότητα των water-type PV/T χρησιμοποιούνται επίπεδο μεταλλικό απορροφητή αλλά έχουν αναφερθεί και συστήματα που χρησιμοποίησαν απορροφητές

από πολυμερή. Το νερό συνήθως κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνες που βρίσκονται σε επαφή με την πίσω πλευρά της επιφανείας απορρόφησης και απάγει την θερμότητα από τον συλλέκτη. Η πίσω πλευρά του συλλέκτη και οι σωλήνες είναι καλά μονωμένοι θερμικά ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η απώλεια θερμότητας από τις επιφάνειες αυτές. Η χρήσιμη θερμική ενέργεια λαμβάνεται στην έξοδο των σωλήνων για να χρησιμοποιηθεί. Οι σωλήνες μπορούν να συνδυαστούν είτε σε σχηματισμό σειράς είτε παράλληλα και το νερό που ρέει μέσα σε αυτούς μπορεί να κυκλοφορεί είτε με την χρήση αντλίας (pumped system) είτε με φυσική θερμοσιφωνική ροή (thermosiphonic flow) λόγω της διαφοράς στην πυκνότητα του νερού που δημιουργείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του.

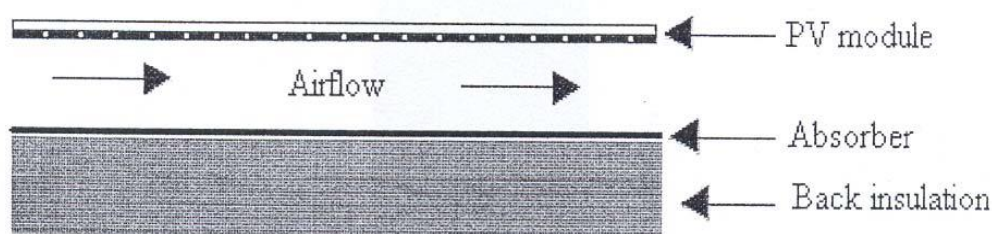


(Εικόνα 14) Τυπικό σύστημα PV/T τύπου νερού (PV/T-water type).

Ένας άλλος τύπος PV/T συστήματος είναι αυτός που χρησιμοποιεί τον αέρα (PV/T/air) σαν κυκλοφορούν ρευστό που απάγει την θερμότητα. Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει ένα κατάλληλα κατασκευασμένο αεραγωγό που εφαρμόζεται κάτω από το επίπεδο της επιφανείας απορρόφησης πάνω στην οποία είναι κολλημένες οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες όπως φαίνεται στην Εικόνα 15. Ο αέρας μπορεί να κυκλοφορεί είτε με εξαναγκασμένη κυκλοφορία (με χρήση αεραντλίας ή ανεμιστήρα) είτε με φυσική κυκλοφορία καθορίζοντας έτσι δυο διαφορετικούς τύπους (PV/T/air forced, PV/T/air natural flow). Η θερμότητα που απάγεται από την επιφάνεια των συλλεκτών με τον αέρα μπορεί σε μια άλλη εκδοχή να μεταφέρεται με εναλλάκτη σε άλλο μέσο π.χ. νερό. Η λειτουργία του PV/T με αέρα εν συντομία είναι η εξής:

Ένα μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας θερμαίνει την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Μέρος της θερμότητας αυτής οδηγείται στον αεραγωγό με τους μηχανισμούς της μεταφοράς και της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολούμενη από την πίσω πλευρά της επιφανείας των συλλεκτών θερμότητα, μεταφέρει ενέργεια στην πίσω εσωτερική επιφάνεια του αεραγωγού (τοίχος) και αυξάνει την θερμοκρασία του. Με

μηχανισμό μεταφοράς η πίσω εσωτερική επιφάνεια του αεραγωγού επαναποδίδει θερμότητα στον αέρα-ρευστό. Ένα μικρό μέρος της ενέργειας βέβαια με μηχανισμό αγωγής θα μεταφερθεί δια μέσου του μονωτικού τοίχου του αεραγωγού στο περιβάλλον. Με την διάταξη όμως αυτή τελικά ο αέρας-ρευστό τροφοδοτείται με θερμότητα τόσο από την πίσω επιφάνεια του συλλέκτη όσο και από την πίσω εσωτερική επιφάνεια του αεραγωγού κατά την διάρκεια μιας μέρας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά την έξοδο του να έχει υψηλότερη θερμοκρασία, στοιχείο που αποτελεί και το θερμικό κέρδος της διάταξης αυτής.



(Εικόνα 15) Τυπικό σύστημα PV/T τύπου αέρα (PV/T-air type)

Η θερμική απόδοση αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από τον τύπο της ροής του αέρα-ρευστού, από το βάθος του αεραγωγού αλλά και από τον ρυθμό κίνησης του ρευστού (παροχή). Η φυσική κυκλοφορία του αέρα-ρευστού, που συνιστά μια απλή χαμηλού κόστους μέθοδο παραγωγής θερμότητας, έχει μικρότερη απόδοση. Από την άλλη, η εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα-ρευστού παρά το ότι η θερμική της απόδοση είναι μεγαλύτερη, απαιτεί πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία μιας αντλίας ή ενός ανεμιστήρα γεγονός που ελαττώνει την ηλεκτρική απόδοση της εγκατάστασης. Επίσης όταν το βάθος του καναλιού είναι σχετικά μικρό και η ταχύτητα ροής του ρευστού μεγάλη έχουμε αύξηση της θερμικής απόδοσης αλλά στην εξαναγκασμένη ροή αυτό οδηγεί σε αύξηση της διαφοράς πίεσης. Η αυξημένη διάφορα πίεσης που δημιουργείται έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει η αντλία ή ο ανεμιστήρας και επομένως πτώση της ηλεκτρικής απόδοσης. Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση της εξαναγκασμένης ροής του αέρα-ρευστού για την σωστή εκτίμηση του καθαρού ενεργειακού κέρδους θα πρέπει να συνυπολογίζεται πάντα και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για την επίτευξη της.

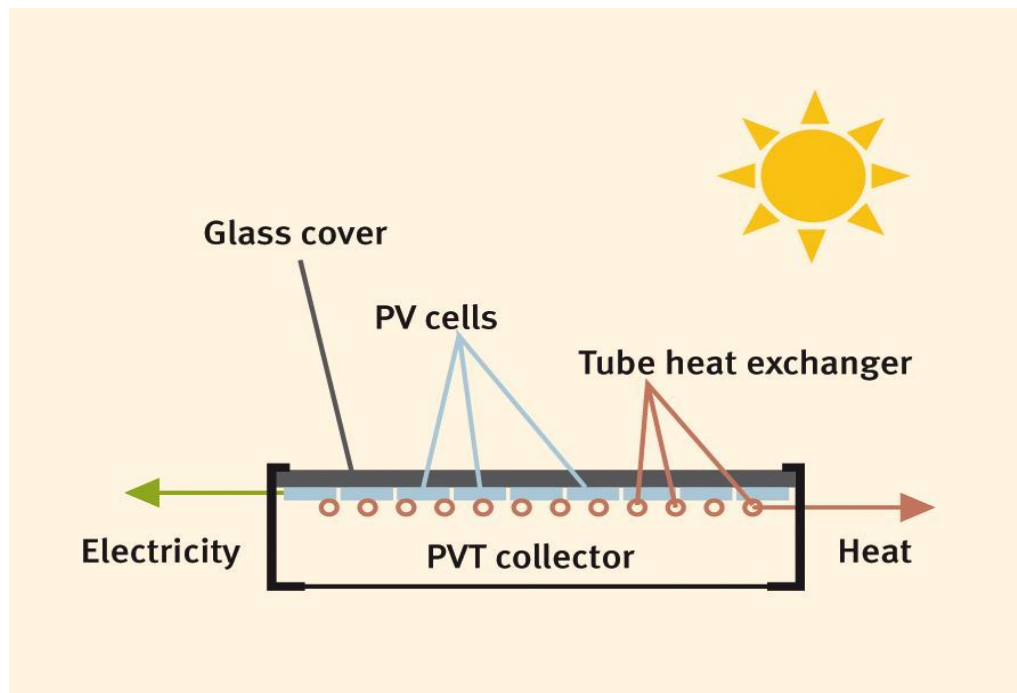
Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συλλεκτών και είναι μεγαλύτερη όταν η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι μικρότερη σε δεδομένες συνθήκες έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και ταχύτητας άνεμου. Η απαίτηση για χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων οδηγεί στην απαίτηση ο αέρας-ρευστό να είναι πολύ χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτά και για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα ροής του. Όμως αυτό με την σειρά του έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση του θερμικού κέρδους της εγκατάστασης αφού η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού θα είναι μικρότερη. Τέτοιες εγκαταστάσεις κρίνονται καταλληλότερες για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες όπως είναι η προθέρμανση εσωτερικών χώρων, η προθέρμανση μιας πισίνας. Η λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες γίνεται χρήσιμη σε περιπτώσεις που οι απαιτούμενες θερμοκρασίες είναι της τάξης των 55 °C.

3.2 Σύντομη περιγραφή των PV/T

Σε ένα ηλιακό κύτταρο για να γίνει μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια πρέπει η ηλιακή ενέργεια να αντιστοιχεί με το ενεργειακό χάσμα των κυττάρων. Διαφορετικά αν η ενέργεια των φωτονίων είναι μικρότερη του ενεργειακού χάσματος η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια δε μπορεί να συμβεί. Τα φωτόνια με μικρό μήκος κύματος μετατρέπουν το ποσοστό της ενέργειάς τους που αντιστοιχεί στο ενεργειακό χάσμα σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ διαχέουν την επιπλέον ενέργειά τους υπό μορφή θερμότητας στα ηλιακά κύτταρα. Σε μια κοινή μονάδα φωτοβολταϊκού πάνω από το 50% της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (αφού έχει αφαιρεθεί το ποσοστό που ανακλάται και αυτό που μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανύψωση της θερμοκρασίας των ηλιακών κυττάρων, ακόμα και πάνω από τους 30° C ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συνεπώς, προκύπτουν δύο ανεπιθύμητες συνέπειες: α) μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων και β) μόνιμη βλάβη στη δομή των κυττάρων, εάν η θερμότητα πάνω στα ηλιακά κύτταρα παραμένει για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.

Μετά την ψύξη των ηλιακών φωτοβολταϊκών κυττάρων με διάφορους τρόπους η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διατηρηθεί σε ικανοποιητικό επίπεδο. Η αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας που επιπλέον παράγεται μπορεί να βελτιώσει τη συνολική αποδιδόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά. Όλα αυτά τα κίνητρα οδηγούν στην έρευνα και εξέλιξη των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών συσκευών (PV/T).

Οι δύο βασικοί τρόποι ψύξης του υβριδικού φωτοβολταϊκού είναι με ροή ρευστού στο πίσω μέρος του (νερό ή αέρα). Στην Εικόνα 16 φαίνεται η τομή του συστήματος.

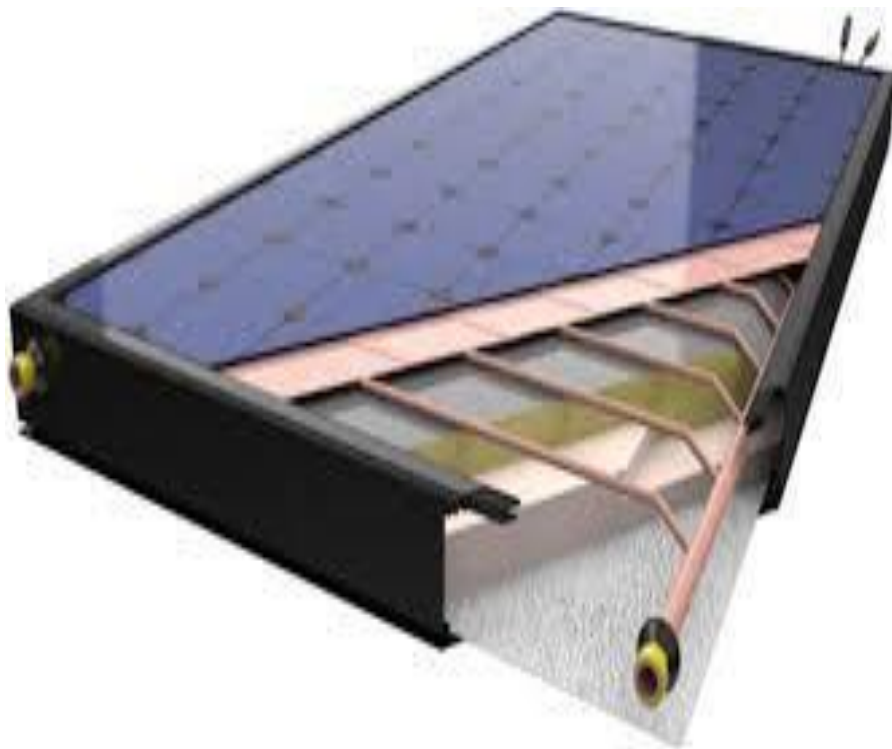


(Εικόνα 16) Τομή υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος

3.3 PV/T στο εμπόριο

Υπάρχουν αρκετοί τύποι εμπορικών PV/T συστημάτων που κυκλοφορούν στην αγορά, κυρίως τύπου αέρα, και μπορούν να αναφερθούν αρκετά παραδείγματα εγκατάστασης τους σε κτήρια σε όλο τον κόσμο. Η πλειονότητα των εμπορικών PV/T συστημάτων είναι επίπεδοι με τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες κολλημένες πάνω στην επιφάνεια απορρόφησης και χρησιμοποιούν τον νερό σαν κυκλοφορούν ρευστό απαγωγής θερμότητας. Η *Millennium Electric* του Ισραήλ κατασκευάζει PV/T/water συστήματα με το όνομα «Multi Solar System» και συλλεκτική επιφάνεια 4.64 m². Δυο Γερμανικές εταιρείες, η *Solar Werk* και η *Solar Watt*, παράγουν αντίστοιχα τα PV/T συστήματα, «Spectrum» με συλλεκτική επιφάνεια 2.2 m² και «Multisolar» με συλλεκτική επιφάνεια 1.92 m². Στην Ελβετία η *ICEC AG COMPANY* παράγει το PV/T σύστημα «Hysolar». Η Καναδική εταιρεία *Conserval Engineering Inc*, έχει εξελίξει ένα PV/T σύστημα, ονόματι «SOLAR WALL», όπου οι κυψελίδες έχουν κολληθεί πάνω σε διάτρητη απορροφητική επιφάνεια και χρησιμοποιεί κυκλοφορία αέρα σαν ρευστό απαγωγής θερμότητας. Μια Δανική εταιρεία *AIDT MILJO A/S* έχει επίσης εξελίξει ένα ηλιακό συλλέκτη με ενσωματωμένες κυψελίδες PV και ανεμιστήρα. Η Ιαπωνική

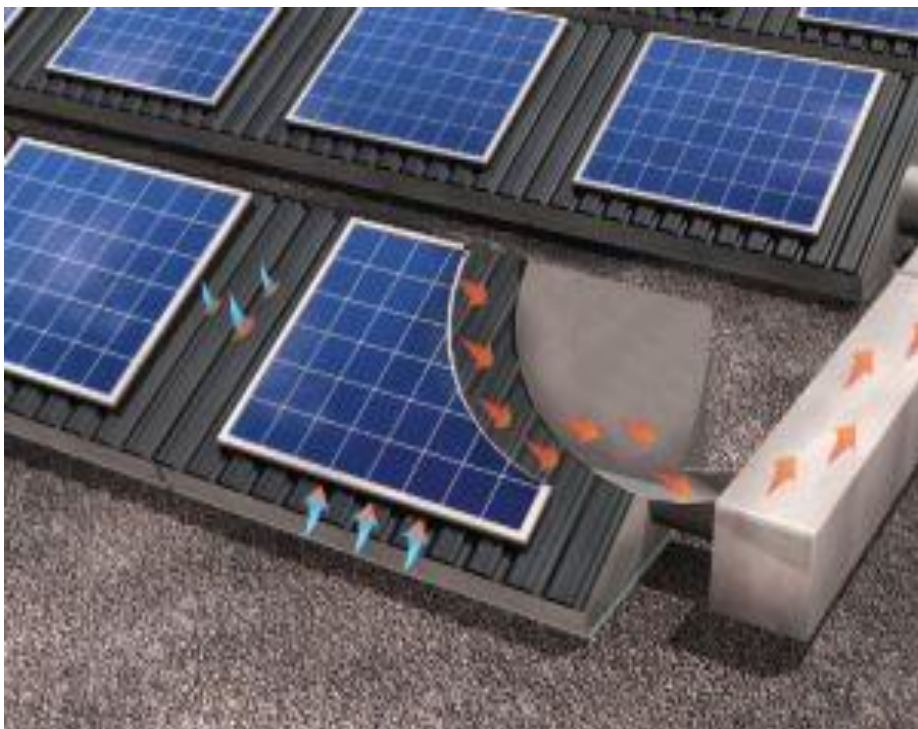
SEKISUI CHEMICALS CO, LTD κατασκευάζει PV/T συστήματα νερού προσαρμοσμένα για τις ανάγκες οικιακής χρήσης. Μπορούν να αναφερθούν επίσης μια σειρά από ιδέες εφαρμογής PV/T συστημάτων σε κτήρια, όπως αυτό του τύπου αέρα που υπάρχει στο Ηλιακό κτήριο της Louisville στο Kentucky, το Montana State University Research Center και τα Applebee's restaurants στις ΗΠΑ με PV/T συλλέκτες ενσωματωμένους στη στέγη. Άλλες αξιοσημείωτες ιδέες εφαρμογής PV/T συστημάτων τύπου αέρα μας δίνουν το ELSA Building στο Ispra της Ιταλίας, το κτήριο Mataro Public Library στην Βαρκελώνη, το Yellow house στο Άλμποργκ της Δανίας, το Doxford Solar Office Building στην Αγγλία, το Foster AG factory building στην Ελβετία και άλλα. Η τεχνολογία παραγωγής και εφαρμογής των PV/T συστημάτων δεν μπορεί να εξαντληθεί από την παράθεση μερικών μόνο χαρακτηριστικών παραδειγμάτων καθώς υπάρχουν και θα υπάρξουν στο μέλλον και άλλες διαφορετικές ιδέες και προσεγγίσεις στο θέμα αυτό.



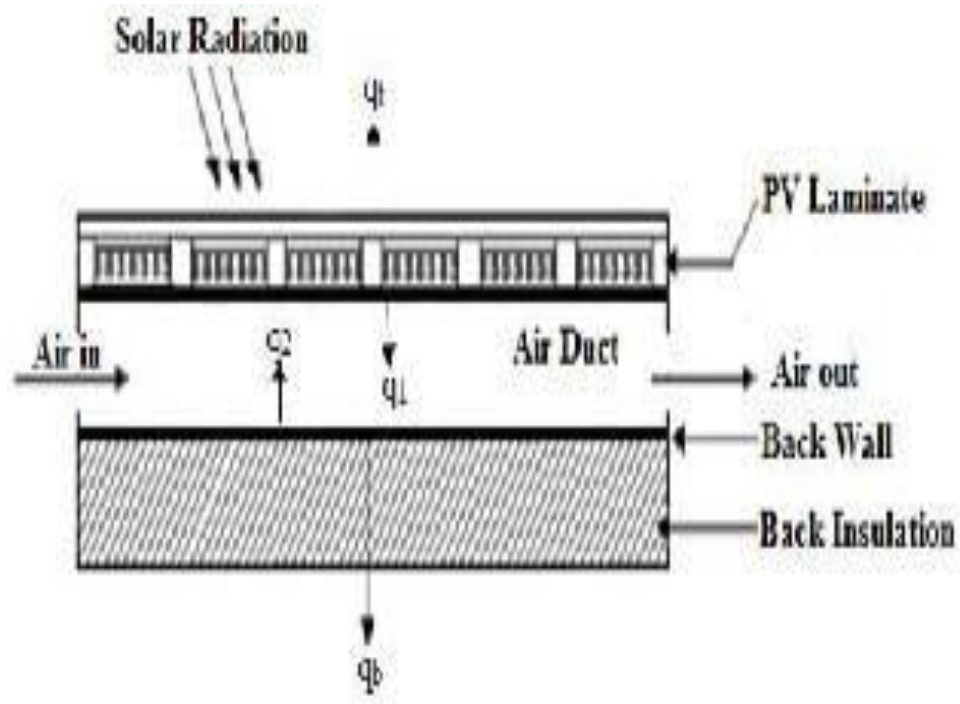
(Εικόνα 17) Τομή υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος με ρευστό



(Εικόνα 18) Γραφική απεικόνιση υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος με ρευστό



(Εικόνα 19) Τομή υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος με αέρα



(Εικόνα 20) Γραφική απεικόνιση υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος με αέρα

3.4 PV/T σε κτήρια

Από το 1990 μέχρι τις μέρες μας έχουν δει το φως της δημοσιότητας πολλές εργασίες πάνω στα PV/T συστήματα, ακολουθούμενης από υπολογιστικά μοντέλα, σε όλο τον κόσμο και για τους δυο τύπους. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον δεν μπορεί παρά να αποδοθεί τόσο στην ανησυχία για την παγκοσμίως ομολογούμενη υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και στην ανησυχία για τα αποθέματα στις συμβατικές μορφές ενέργειας. Οι απαιτήσεις για εξοικονόμηση ενέργειας προβάλλουν την ανάγκη είτε για ριζική μείωση είτε για λελογισμένη χρήση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε κάθε τομέα της κοινωνικοοικονομικής δραστηριότητας, ιδίως στον τομέα των κτηρίων (είτε αστικών είτε εμπορικών). Ο τομέας των κτηρίων καταναλώνει περίπου το 40% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και η δυνατότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια τόσο στις αναπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες χωρίς μάλιστα να υπάρχουν δυσμενείς για το περιβάλλον επιπτώσεις. Τα PV/T συστήματα έχουν μεγάλη απόδοση για κτήρια και έτσι παρέχουν την δυνατότητα αξιοποίησης από αυτά της ηλιακής ενέργειας σε υψηλό βαθμό συμβάλλοντας ικανοποιητικά στην κάλυψη του συνολικά καταναλισκόμενου φορτίου και

παρέχοντας με τον τρόπο αυτό μια στρατηγικής σημασίας συμβολή των κτηρίων στην μετρίαση του εκπεμπόμενου CO₂ στο περιβάλλον. Η εμφάνιση εγκαταστάσεων PV/T συστημάτων σε περιβαλλοντικά κτήρια παρείχε πρακτικές εφαρμογές των συλλεκτών αέρα για κτήρια ανοίγοντας ταυτόχρονα ένα νέο πεδίο ερευνάς της εφαρμογής της. Η τεχνολογία βελτιστοποίησης του κόστους στα περιβαλλοντικά κτήρια στηρίζεται στη δυνατότητα συνδυαστικής χρήσης τόσο της παρεχομένης ηλεκτρικής ενέργειας όσο και της θερμικής που μεταφέρεται είτε με την χρήση νερού είτε με την χρήση αέρα ως ρευστού μεταφοράς για την κάλυψη αναγκών μέσα στο κτήριο και μπορεί να είναι ακόμα πιο συμφέροντα από οικονομική άποψη στην περίπτωση που τα PV/T συστήματα είναι ενεργά ενσωματωμένα στην αρχιτεκτονική και στατική δομή του κτηρίου αποτελώντας οργανικά αναπόσπαστα τμήματα της κατασκευής του. Βέβαια η τελευταία εκδοχή θα απαιτούσε μια συνολική αντιμετώπιση του κτηρίου με την συνεργασία αρχιτέκτονα, μηχανικού και άλλων επιστημόνων ειδικών στην ηλιακή ενέργεια.



(Εικόνα 21) Εγκατάσταση PV/T με αέρα σε ταράτσα κτηρίου



(Εικόνα 22) Εγκατάσταση PV/T με αέρα σε ταράτσα κτηρίου



(Εικόνα 23) Εγκατάσταση PV/T με νερό σε σκεπή κτηρίου



(Εικόνα 24) Εγκατάσταση PV/T με νερό σε σκεπή κτηρίου



(Εικόνα 25) Στο ολυμπιακό χωριό στην Beijing της Κίνας συνδυασμός PV/T με νερό σε συνδυασμό με ανεμογεννήτριες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Περιγραφή ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό/θερμικό σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο με ενσωματωμένη μονάδα απολαβής θερμότητας, όπου ένα κυκλοφορούν ρευστό θερμαίνεται, ψύχοντας ταυτόχρονα το φωτοβολταϊκό. Για την μελέτη του φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε ένα πειραματικό μοντέλο που περιλαμβάνει το υβριδικό φωτοβολταϊκό/θερμικό πλαίσιο (PV/T panel) με πλαστικό κάλυμμα. Η μονάδα απολαβής της θερμότητας μπορεί να είναι συνδεδεμένη με δοχείο αποθήκευσης νερού για την λειτουργία του συστήματος με ελεύθερη ροή ή σε εναλλακτική εκδοχή με την χρήση ηλεκτροβάννας μπορεί να γίνεται βεβιασμένη κίνηση του ρευστού σε κύκλωμα που επιθυμούμε.

4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματικά διάταξη ήταν ένα φωτοβολταϊκό πολυκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρίας Hong Xin Xu με την εμπορική ονομασία PV-JB006 , ονομαστικής ισχύος 40 W στα 1000 W/m² στους 25°C. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχει διαστάσεις 598mm x 540mm x 46mm συνολικού εμβαδού $A_{tot}=0.99 \text{ m}^2$ και αποτελείται από 24 φωτοβολταϊκά στοιχεία με εμβαδό συλλεκτικής επιφάνειας $A_{col}=0.88 \text{ m}^2$. Στην μπροστινή του όψη (Εικόνα 27) τα φωτοβολταϊκά στοιχεία καλύπτονται από διάφανη μεμβράνη έτσι ώστε και στεγανότητα να επιτύχουμε αλλά και προστασία από μηχανικές καταπονήσεις ενώ στην πίσω του πλευρά υπάρχει λεπτό φύλλο αλουμινίου το οποίο προσφέρει μηχανική αντοχή στο πλαίσιο αλλά και λόγω της θερμοαγωγιμότητας του βοηθά στην γρήγορη απαγωγή θερμότητας που λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου συσσωρεύεται στο πλαίσιο.

Επίσης η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται εντός του ηλεκτρικού πίνακα και μέσω ενός μεταγωγικού διακόπτη μπορεί να καταναλωθεί σε διάφορα φορτία ώστε να επιτύχουμε την μέγιστη αποδιδόμενη κατανάλωση. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του πλαισίου.

Ονομαστική μέγιστη ισχύς εξόδου (P_{max}) 40 W (+3%-0%)

Ονομαστική μέγιστη τάση (V_{mp}) 18 V

Ονομαστικό μέγιστο ρεύμα (I_{mp}) 2.22 A

Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) 21.6 V

Ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{sc}) 2.44 A

Μέγιστη τάση συστήματος 1000 V

Specification :

Related power	40W
Voc	21.6V
Vop	18V
Short circuit current (Isc)	2.44A
Working current (Iop)	2.22A
Output Tolerance	3%
Temperate coefficient of Isc	(0.10+/- 0.01)%/°c
Temperate coefficient of Voc	- (0.38 +/-0.01)%/°c
Temperate coefficient of power Voc	-0.47%/°c
Temperature range	-40°c to +80°c
Frame	No frame
Backsheet	Aluminum Substrat
Kind of connection	waterproof junction box, can be customized
life span	8Years
SLA Battery Voltage	12V
Dimensions (mm)	598*540mm
NET Weight (KG)	1.38kg

(Εικόνα 26) Χαρακτηριστικά στοιχεία του φωτοβολταϊκού πάνελ



(Εικόνα 27) Μπροστινή όψη του φωτοβολταϊκού πάνελ



(Εικόνα 28) Μπροστινή όψη του φωτοβολταϊκού πάνελ στην οποία φαίνεται η δυνατότητα που έχει να κάμπτεται



(Εικόνα 29) Μπροστινή όψη του φωτοβολταϊκού πάνελ στην οποία φαίνεται το σημείο σύνδεσης των καλωδίων με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες



(Εικόνα 30) Μπροστινή όψη του φωτοβολταϊκού πάνελ στην οποία φαίνεται η πρώτη στρώση με διάφανη μεμβράνη, μετά οι φωτοβολταϊκές κυψέλες και τέλος το φύλλο αλουμινίου



(Εικόνα 31) Σύνδεση του φωτοβολταϊκού πάνελ με τον πίνακα ελέγχου μέσω ειδικής φίσσας για καλύτερη απόδοση και στεγανότητα

4.3 Μονάδα απολαβής θερμότητας

Η μονάδα απολαβής της θερμότητας είναι χειροποίητη κατασκευή από φύλλο λαμαρίνας γαλβάνιζε πάχους 1 mm (Εικόνα 32) και από τετράγωνα πηχάκια γαλβάνιζε διαστάσεων 20x20 mm με πάχος 1,5 mm (Εικόνα 33). Η κοπή του φύλλου της λαμαρίνας έγινε σε υδραυλικό ψαλίδι 10 τόνων (Εικόνα 34) και σε διαστάσεις όσο του φωτοβολταϊκού πάνελ δηλαδή 598x540 mm. Τα πηχάκια κόπηκαν με σταθερό ηλεκτρικό τροχό (Εικόνα 35) και λειάνθηκαν επίσης με ηλεκτρικό τροχό χειρός (Εικόνα 36) ώστε να είναι έτοιμα για συγκόλληση με την λαμαρίνα. Η κοπή τους έγινε υπό γωνία 45° ώστε να επιτύχουμε καλύτερη προσαρμογή. Η συγκόλληση τους έγινε με ηλεκτροκόλληση επαγγελματικού τύπου η οποία χρησιμοποιεί χάλκινο σύρμα αντί για ηλεκτρόδιο και αδρανές αέριο στο ακροφύσιο της για καλύτερο αποτέλεσμα (Εικόνα 37). Έτσι δημιουργήθηκε ένα τετράγωνο πλαίσιο πάνω στο οποίο προσαρμόστηκε και το φύλλο της λαμαρίνας (Εικόνα 38). Στη συνέχεια ανοίχτηκαν τρύπες διαμέτρου 6 mm με σταθερό τρυπάνι κάθετης κατεύθυνσης (Εικόνα 39) οι οποίες θα μας βοηθήσουν για την προσαρμογή του φωτοβολταϊκού πάνελ μας με τον θερμικό συλλέκτη. Επίσης έγινε διάνοιξη 2 οπών, στην αριστερή γωνία της πάνω οριζόντιας πλευράς και στην κάτω γωνία της αριστερής κάθετης πλευράς, διαμέτρου 13mm οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή ειδικών κούφιων μαστών από τους οποίους θα γίνεται η εισαγωγή του κρύου νερού και η εξαγωγή του ζεστού. Τέλος έγινε στεγανοποίηση της μονάδας απολαβής με ειδική κόλλα η οποία χρησιμοποιείται για συγκόλληση υλικών τα οποία είναι βυθισμένα σε νερό ώστε να αποφύγουμε διαρροές (Εικόνα 40 και 41). Το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε η κόλλα για να στεγανοποιήσει πλήρως την μονάδα μας άγγιξε τις 3 μέρες

μιας και οι οδηγίες του κατασκευαστή ήταν να παραμείνει 24 ώρες για κάθε 2 mm πάχους κόλλας που θα χρησιμοποιούσαμε.



(Εικόνα 32) Φύλλο λαμαρίνας γαλβάνιζε πάχους 1mm που χρησιμοποιήθηκε



(Εικόνα 33) Πηγάκια τετράγωνα γαλβάνιζε διαστάσεων 20x20mm και πάχους 1,5mm



(Εικόνα 34) Ειδική πρέσα ψαλίδι για το κόψιμο της λαμαρίνας



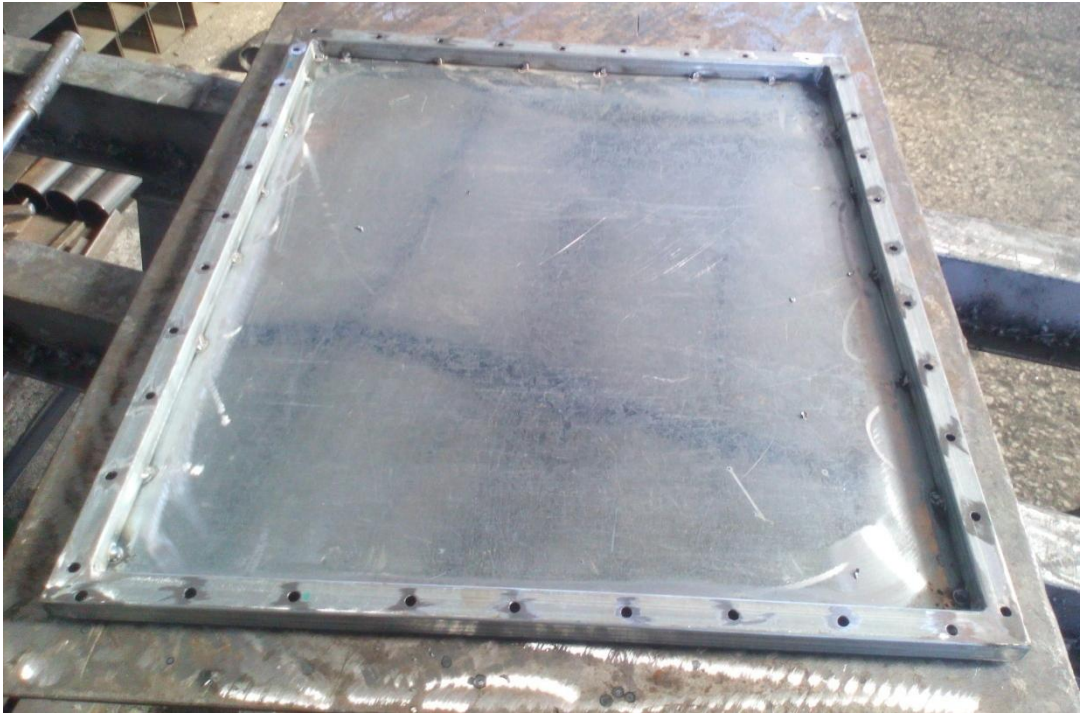
(Εικόνα 35) Σταθερός τροχός κοπής μετάλλων υπό γωνία 45°



(Εικόνα 36) Τροχός κοπής και λείανσης μετάλλων χειρός



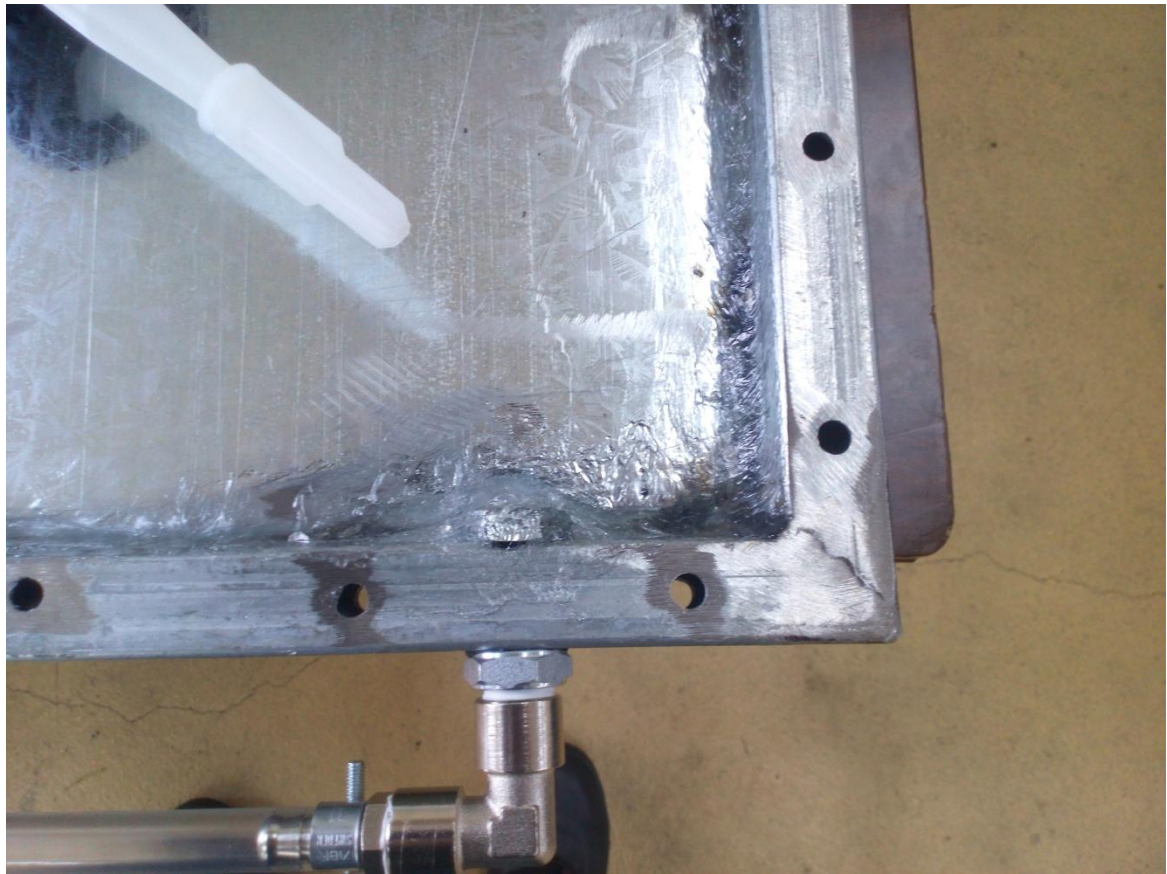
(Εικόνα 37) Ηλεκτροσυγκόλληση των διαφόρων μερών



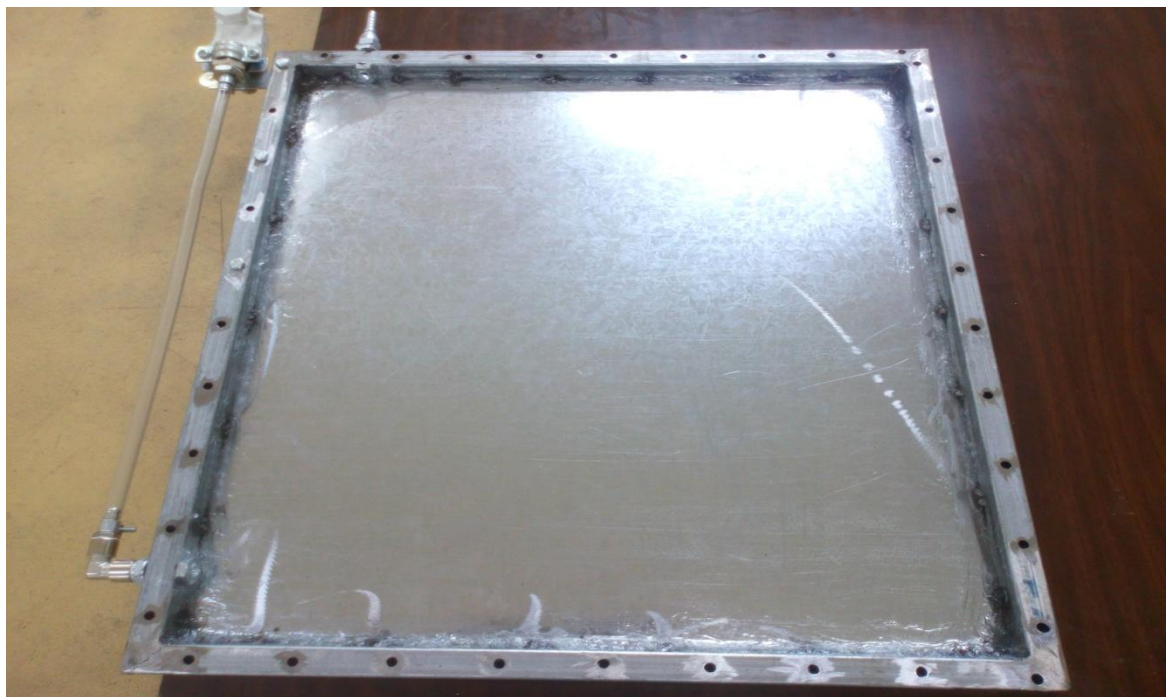
(Εικόνα 38) Ο θερμικός συλλέκτης μετά την συναρμολόγηση



(Εικόνα 39) Κάθετο τρυπάνι σταθερών στροφών



(Εικόνα 40) Στεγανοποίηση του θερμικού συλλέκτη με ειδική κόλλα



(Εικόνα 41) Μετά την στεγανοποίηση στην οποία φαίνεται η είσοδος και έξοδος του νερού

Τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση του θερμικού συλλέκτη είναι η συγκόλληση του με το φωτοβολταϊκό πάνελ ώστε να δημιουργηθεί μια κλειστή δεξαμενή η οποία θα γεμίζει με νερό το οποίο θα έρχεται σε άμεση επαφή με την πλάτη του φωτοβολταϊκού πάνελ και θα το ψύχει. Για την συγκόλληση χρησιμοποιήθηκε η ίδια κόλλα στεγανοποίησης που χρησιμοποιήθηκε και στην βάση του θερμικού συλλέκτη. Βιδώθηκαν οι περαστές βίδες διαμέτρου 6 mm και μήκους 40 mm στις οποίες προστέθηκαν ροδέλες, ροδέλες ασφαλείας και παξιμάδια διαμέτρου επίσης 6 mm. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 42 και Εικόνα 43).



(Εικόνα 42) Συναρμολόγηση με περαστές βίδες



(Εικόνα 43) Πλάγια όψη που φαίνεται η περαστή βίδα, ροδέλα, φωτοβολταϊκό πλαίσιο, θερμικός συλλέκτης, ροδέλα, ροδέλα ασφαλείας, παξιμάδι

Μετά την συναρμολόγηση του θερμικού συλλέκτη με το φωτοβολταϊκό πάνελ έγινε προσπάθεια καταμέτρησης της χωρητικότητας του σε νερό ώστε να υπάρχει σαν δεδομένο. Κατά την πλήρωση διαπιστώθηκε ότι τόσο η λαμαρίνα του θερμικού συλλέκτη αλλά και το ίδιο το φωτοβολταϊκό πάνελ εξαιτίας της ευκαμψίας που έχουν και εξαιτίας της πίεσης του νερού εσωτερικά του συστήματος μας διογκώθηκαν προς την έξω πλευρά με αποτέλεσμα οι πιέσεις που εξασκήθηκαν στην πλευρά επαφής του θερμικού συλλέκτη με το φωτοβολταϊκό πάνελ να οδηγήσουν σε δημιουργία ρήγματος και απώλεια νερού σε τέτοιο σημείο που η καταμέτρηση να σταματήσει. Έγινε εκ νέου αποχωρισμός του θερμικού συλλέκτη με το φωτοβολταϊκό πάνελ και διαπιστώθηκε ότι η κόλλα που υπήρχε μεταξύ τους δεν άντεξε την πίεση. Παρατηρήθηκε από την υφή και το χρώμα της κόλλας ότι δεν είχε γίνει σωστά η ωρίμανση αυτής παρόλο που το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε ήταν σύμφωνο με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Πιθανή αιτία του παραπάνω συμπτώματος είναι ο μη επαρκής αερισμός του συστήματος μας αφού μετά την τοποθέτηση του φωτοβολταϊκού πάνελ πάνω στον θερμικό συλλέκτη δημιουργήθηκε ουσιαστικά μια κλειστή δεξαμενή στην οποία ο αέρας δεν κυκλοφορούσε με ευκολία.

Τα παραπάνω συμπεράσματα οδήγησαν στην απόφαση να προστεθεί μια κατασκευή σε σχήμα σταυρού εσωτερικά του θερμικού συλλέκτη ώστε να σταθεροποιηθεί αυτός και να αποτραπεί οποιαδήποτε μελλοντική κάμψη του. Κόπηκαν 3 κομμάτια από τετράγωνο γαλβάνιζε σωλήνα ίδιων διαστάσεων και χαρακτηριστικών με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε και για το πλαίσιο του θερμικού συλλέκτη. Το μήκος τους είναι 50 cm και δυο κομμάτια των 21 cm. Επίσης ανοίχτηκαν διαμπερές τρύπες σε αυτά ώστε να γίνεται ελεύθερα η κίνηση του νερού εντός του θερμικού συλλέκτη. Επίτηδες το μήκος τους είναι μικρότερο από τις εσωτερικές διαστάσεις του θερμικού συλλέκτη, έτσι ο σταυρός δεν ακουμπά σε κάποια πλευρά του. Αυτό έγινε και για να υπάρχει μια επιπλέον δίοδος για το νερό αλλά και για να μην χαλάσουμε την στεγανοποίηση που κάναμε στον θερμικό συλλέκτη και αποδείχτηκε αξιόπιστη. Έγινε ηλεκτροσυγκόλληση των παραπάνω κομματιών μεταξύ τους ώστε να δημιουργηθεί ένας σταυρός και μετά έγινε ηλεκτροσυγκόλληση του σταυρού πάνω στην λαμαρίνα του θερμικού συλλέκτη ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Έγινε τοποθέτηση της στεγανοποιητικής κόλλας που αναφέραμε παραπάνω στην βάση του σταυρού για να επιτύχουμε καλύτερη συναρμολόγηση. Επίσης απλώθηκε καινούργια στρώση κόλλας στο πλαίσιο του θερμικού συλλέκτη αλλά και στον σταυρό ώστε όταν προσαρμόσουμε το φωτοβολταϊκό πάνελ να κολλήσει και αυτό από την εσωτερική του πλευρά πάνω στον σταυρό και να μην κάμπτεται από την πίεση του νερού. Έγινε τέλος τοποθέτηση των περαστών βιδών στο

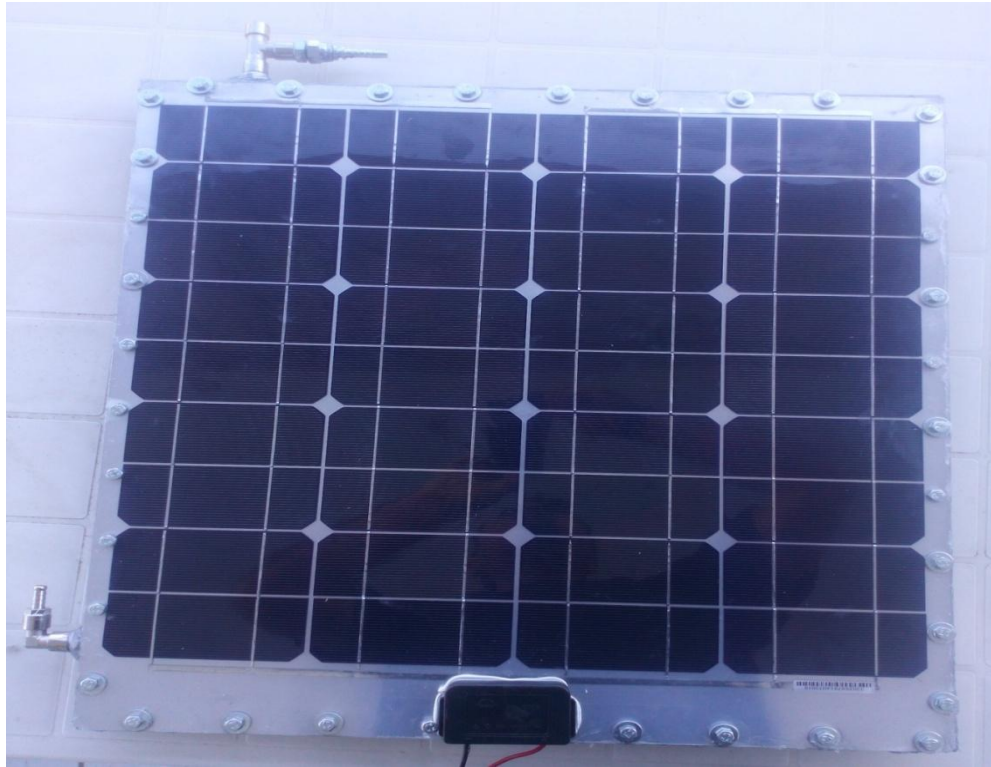
σύστημα μας με όλα τα παρελκόμενα τους και τοποθετήθηκε σε οριζόντια θέση με βάρος στο κέντρο της κατασκευής ώστε να γίνει καλύτερη συγκόλληση του φωτοβολταϊκού πάνελ με τον σταυρό του θερμικού συλλέκτη. Ο χρόνος για την εκ νέου ωρίμανση της κόλλας θα είναι διπλάσιος από τον αρχικό ώστε να έχουμε σίγουρα καλή συγκόλληση δηλαδή θα φτάσει τις 6 μέρες.



(Εικόνα 44) Συγκόλληση των 3 τεμαχίων για την δημιουργία σταυρού



(Εικόνα 45) Τοποθέτηση κατασκευής σχήματος σταυρού εντός του θερμικού συλλέκτη



(Εικόνα 46) Τελική συναρμολόγηση του θερμικού συλλέκτη με το φωτοβολταϊκό πάνελ



(Εικόνα 46) Τελική συναρμολόγηση του θερμικού συλλέκτη με το φωτοβολταϊκό πάνελ

Έγινε τελική καταμέτρηση της χωρητικότητας της δεξαμενής και βρέθηκε ότι η ποσότητα που χωράει είναι περίπου 7 λίτρα μαζί με το πλαϊνό διαφανή σωλήνα που χρησιμοποιείται και σαν δείκτης στάθμης. Η ποσότητα του νερού δεν μπορεί να μετρηθεί ακριβώς λόγω των συστολών και διαστολών του μεταλλικού δοχείου.

4.4 Πίνακας ελέγχου

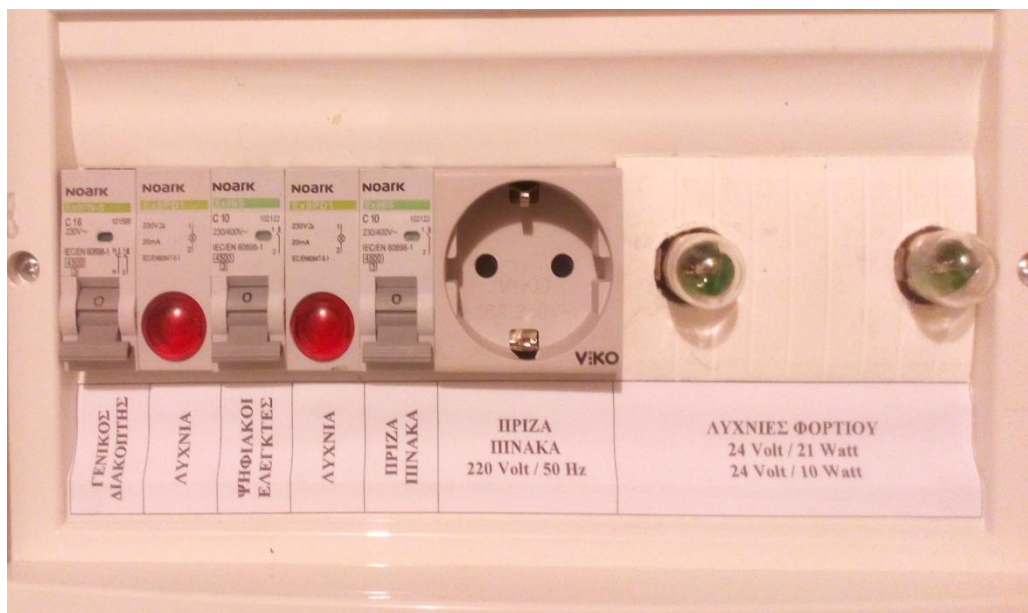
Ο πίνακας ελέγχου (Εικόνα 47) απαρτίζεται από έναν εξωτερικό πίνακα ηλεκτρολογικής εγκατάστασης 2 σειρών και 12 στοιχείων η κάθε σειρά με διαφανή πόρτα ελέγχου για πιο εύκολη παρατήρηση. Έχει εξωτερικές διαστάσεις 110x349x321mm και βάρος 1360gr. Έχει προστασία από μικροσωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 1mm (IP 40), έχει κατασκευαστεί για να λειτουργεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -25°C έως +60°C, έχει προστασία από ηλεκτρικό σοκ κατηγορίας 2 (class II) που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται σύνδεση εξωτερικής γείωσης, έχει αντοχή σε φωτιά και φλόγα μέχρι την θερμοκρασία των 650°C, έχει ήδη προεγκατεστημένες μπάρες γείωσης και ουδέτερου και τέλος λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών που πρέπει να έχουμε όλοι μας έχει κατασκευαστεί χωρίς χρήση αλογόνου και με διαδικασίες φιλικές προς το περιβάλλον.



(Εικόνα 47) Πίνακας ελέγχου

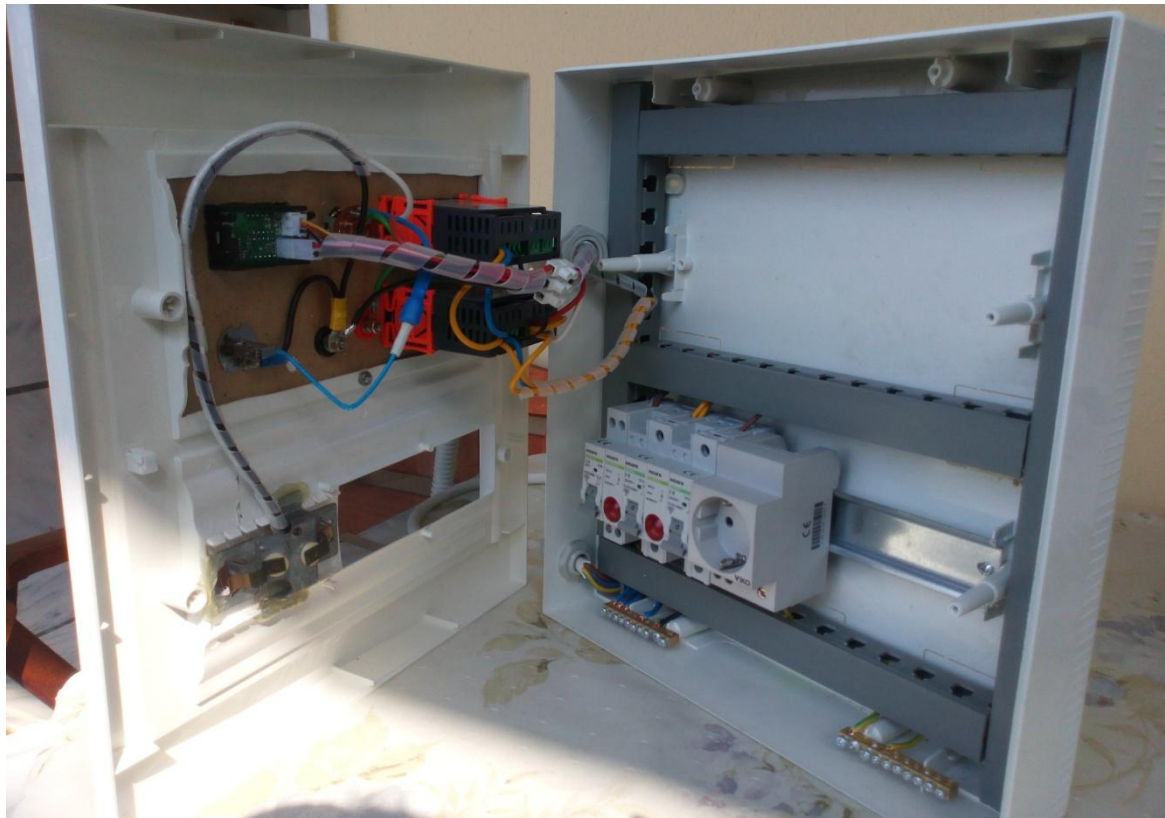
Στην κάτω σειρά έχει τοποθετηθεί από αριστερά προς τα δεξιά ένας μικροαυτόματος διακόπτης έντασης 16A (Ampere) που διακόπτει και την φάση και τον ουδέτερο και χρησιμοποιείται σαν γενικός διακόπτης προστασίας του πίνακα μας από βραχυκύκλωμα. Στη συνέχεια έχει τοποθετηθεί ενδεικτική λυχνία κόκκινου χρώματος για ένδειξη παρουσίας τάσης στον πίνακα μας εφόσον έχουμε τοποθετήσει τον γενικό

διακόπτη σε θέση ON (κλειστό κύκλωμα). Τρίτο σε σειρά έχει τοποθετηθεί μικροαυτόματος διακόπτης έντασης 10A (Ampere) ο οποίος τροφοδοτεί το κύκλωμα των ψηφιακών ελεγκτών θερμοκρασίας και στη συνέχεια ενδεικτική λυχνία πάλι κόκκινου χρώματος για να ξέρουμε πότε έχουμε τροφοδοσία σε αυτά. Τέλος στη πέμπτη θέση έχουμε μικροαυτόματο διακόπτη έντασης 10A (Ampere) ο οποίος τροφοδοτεί την διπλανή πρίζα σούκο για ενδεχόμενη παροχή σε κάποια κατανάλωση 220 Volt / 50 Hz.



(Εικόνα 48) Κάτω σειρά πίνακα ελέγχου

Κατάλληλες συνδέσεις έχουν γίνει εντός του πίνακα μεταξύ του παραπάνω εξοπλισμού οι οποίες απαιτούν ηλεκτρολογικές γνώσεις από επαγγελματία ηλεκτρολόγο και οποιαδήποτε μελλοντική αλλαγή θα πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή και πάντα από κάποιον εξειδικευμένο επαγγελματία. Η παροχή ολόκληρου του πίνακα γίνεται μέσω ενός εξωτερικού αρσενικού φισ το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε πρίζα μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης. Όλα τα καλώδια τα οποία εισέρχονται ή εξέρχονται από τον πίνακα περνάνε μέσα από στυπιοθλίπτες ώστε να επιτύχουμε την μέγιστη στεγανότητα του πίνακα μας και να βοηθήσουμε τα καλώδια μας από μηχανικές καταπονήσεις μιας και αυτά συγκρατούνται σταθερά.



(Εικόνα 49) Εσωτερικό πίνακα ελέγχου

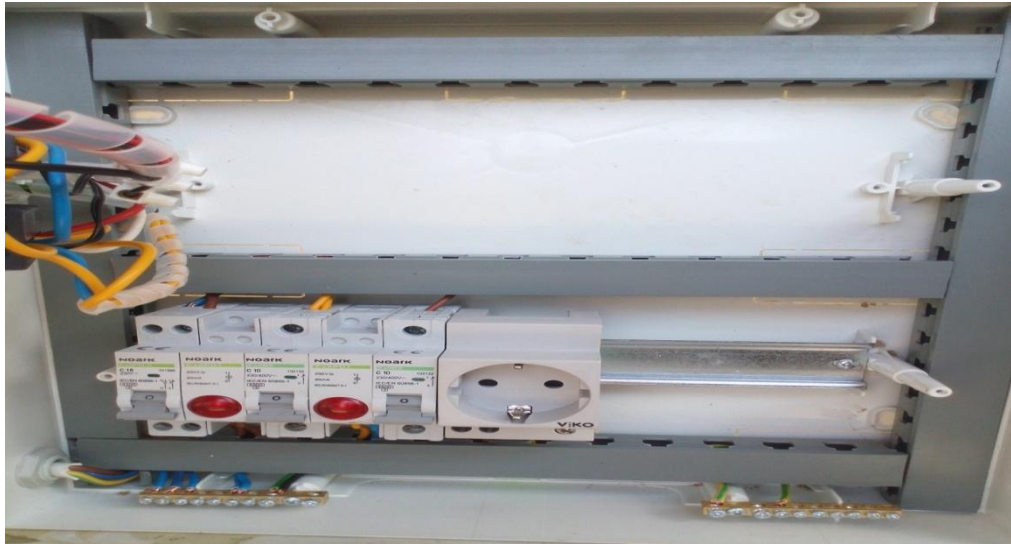
Στην πάνω σειρά του πίνακα μας έχει φτιαχτεί χειροποίητη κατασκευή από λεπτό φύλλο ξύλου ώστε να προσαρμοστούν σε αυτή οι 2 ψηφιακοί ελεγκτές θερμοκρασίας μας οι οποίοι θα ελέγχουν τον θερμικό συλλέκτη μας, ένας μεταγωγικός διακόπτης 6 θέσεων για να μπορούμε να τροφοδοτούμε διάφορες καταναλώσεις από το φωτοβολταϊκό, ένα ψηφιακό πολύμετρο το οποίο θα μας δίνει τιμές τάσης και έντασης συνεχούς ρεύματος από το φωτοβολταϊκό, 2 ακροδέκτες θετικού και αρνητικού πόλου για σύνδεση διαφόρων καταναλώσεων σε αυτούς μέσω του μεταγωγικού διακόπτη μας και τέλος μια λάμπα με χαρακτηριστικά λειτουργίας 24Volt και με ισχύ 70Watt η οποία θα χρησιμοποιείται σαν φορτίο μέσω του μεταγωγικού μας διακόπτη για να μπορούμε να καταγράφουμε τιμές λειτουργίας του φωτοβολταϊκού. Τέλος στην κάτω σειρά του πίνακα μας και στα δεξιά έχει προσαρμοστεί χειροποίητη κατασκευή η οποία αποτελείται από 2 ντουί για λάμπες αυτοκινήτου η οποία μέσω του μεταγωγικού μας διακόπτη μπορεί να τροφοδοτήσει συνδυασμό καταναλώσεων από λάμπες με χαρακτηριστικά λειτουργίας 24Volt και με ισχύ 21Watt ή 24Volt και με ισχύ 10Watt.



(Εικόνα 50) Πάνω σειρά πίνακα ελέγχου

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις συνδέσεις εντός του πίνακα ώστε να αποφευχθούν βραχυκυκλώματα. Έτσι όλα τα καλώδια δρομολογήθηκαν μέσα σε διάτρητα κανάλια τα οποία τοποθετήθηκαν εκ των υστέρων εσωτερικά του πίνακα για μεγαλύτερη ασφάλεια. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορα χρωματιστά καλώδια για πιο εύκολη διαπίστωση της δρομολόγησης τους, ενώ όπου τα καλώδια χρειάστηκε να εξέλθουν από τα διάτρητα κανάλια χρησιμοποιήθηκε ειδικός σπειροειδής σωλήνας για διευθέτηση αυτών και για προφύλαξη τους από μηχανικές καταπονήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μη επιθυμητές καταστάσεις σε ένα άκρως ευαίσθητο κομμάτι της εργασίας μας το οποίο έρχεται και σε άμεση επαφή με τον χρήστη αυτής. Τέλος όλα τα καλώδια ελέγχου της ηλεκτροβάνας, τα καλώδια των αισθητήρων των 2 ελεγκτών θερμοκρασίας, τα καλώδια που έρχονται στον πίνακα μας από το φωτοβολταϊκό πάνελ καθώς και ένα ζεύγος καλωδίων τα οποία είναι για μελλοντική χρήση τοποθετήθηκαν σε εύκαμπτο σωλήνα εξωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και οδηγήθηκαν από τον πίνακα μας σε ένα εξωτερικό κουτί διακλαδώσεων μέσα στο οποίο έγιναν οι αναγκαίες ηλεκτρικές συνδέσεις και δρομολογήσεις.

. Ο τρόπος λειτουργίας και προγραμματισμού των επιμέρους εξαρτημάτων του πίνακα μας αλλά και συνολικά του τρόπου παρατήρησης όλων των παραπάνω θα αναλυθεί παρακάτω ώστε να γίνει κατανοητό με απλούς ορισμούς η χρήση του.



(Εικόνα 51) Εσωτερικό πίνακα ελέγχου



(Εικόνα 52) Ο πίνακας ελέγχου συνολικά

4.5 Ψηφιακός ελεγκτής θερμοκρασίας

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιούνται 2 ίδιοι ψηφιακοί ελεγκτές θερμοκρασίας με ονομασία STC-1000. Ο ελεγκτής έχει 2 λειτουργίες, μια αυτή να δίνει εντολή να ζεσταθεί το νερό που μετρά και μια εντολή να ψηχθεί το νερό. Έτσι μπορεί να εναλλάσσει τις παραπάνω εντολές αφού πρώτα έχουμε ορίσει μια επιθυμητή θερμοκρασία (temperature set value) και στη συνέχεια μια διαφορά θερμοκρασίας (difference set value). Πρόσθετες λειτουργίες είναι αυτή της διόρθωσης της θερμοκρασίας (temperature calibration), της χρονοκαθυστέρησης για ενεργοποίηση του ψυκτικού μηχανισμού ώστε να προφυλάσσεται από βραχυπρόθεσμες ενεργοποιήσεις και της ενεργοποίησης ηχητικού βόμβου όταν η θερμοκρασία υπερβεί τα όρια που έχουμε ορίσει ή διαπιστώσει κάποιο πρόβλημα με τον αισθητήρα θερμοκρασίας που έχει.



(Εικόνα 53) Πρόσοψη STC-1000

Παρακάτω παρατίθενται οι εξωτερικές διαστάσεις του ελεγκτή:

- Διαστάσεις πρόσοψης : 75x34,5mm
- Διαστάσεις για χωνευτή τοποθέτηση : 71x29mm
- Διαστάσεις : 75x34,5x85mm
- Μήκος αισθητήρα : 2m

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας : -50°C – 90°C
- Ακρίβεια εμφάνισης μέτρησης : 0,1°C

- Ακρίβεια μέτρησης : $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($-50^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$)
- Χρονοκαθυστέρηση για λάθος του αισθητήρα : 1 minute
- Τροφοδοσία : 110 – 220 VAC $\pm 10\%$, 50/60 Hz
- Κατανάλωση : $<3\text{W}$
- Είδος αισθητήρα : NTC (Negative Temperature Coefficient)
- Χαρακτηριστικά του ρελέ : Cool (10A/250VAC) , Heat(10A/250VAC)
- Θερμοκρασία λειτουργίας : $0^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασία αποθήκευσης : $-30^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$
- Υγρασία λειτουργίας : 20% – 85%

Ο ελεγκτής ξεκινά να ψύχει (η ένδειξη cool στην οθόνη ανάβει και το αντίστοιχο ρελέ ενεργοποιείται) όταν η μετρούμενη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της επιθυμητής θερμοκρασίας που έχουμε ορίσει συν της διαφορικής θερμοκρασίας που επίσης έχουμε ορίσει στον αρχικό προγραμματισμό μας. Εάν ο δείκτης cool επί της οθόνης αναβοσβήνει τότε σημαίνει ότι έχει ενεργοποιηθεί η χρονοκαθυστέρηση προστασίας της ενεργοποίησης του ψυκτικού μηχανισμού και διατηρείται για όσο χρόνο έχουμε ορίσει. Όταν η μετρούμενη θερμοκρασία γίνει μικρότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία που έχουμε ορίσει τότε ο δείκτης cool σβήνει και το αντίστοιχο ρελέ απενεργοποιείται.

Αντίστοιχα όταν η μετρούμενη θερμοκρασία είναι μικρότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία μείον την διαφορική θερμοκρασία τότε ο Heat δείκτης επί της οθόνης ανάβει και το αντίστοιχο ρελέ ενεργοποιείται και όταν η μετρούμενη θερμοκρασία γίνει ίση ή μεγαλύτερη από την επιθυμητή θερμοκρασία τότε ο δείκτης σβήνει και το ρελέ απενεργοποιείται.

Η ενεργοποίηση του ηχητικού βόμβου (alarm) γίνεται όταν ο ελεγκτής διαπιστώσει βραχυκύκλωμα ή ανοιχτό κύκλωμα στο κύκλωμα του αισθητήρα. Τότε όλα τα ενεργοποιημένα ρελέ ανοίγουν και η ένδειξη “EE” εμφανίζεται στην οθόνη. Πατώντας οποιοδήποτε κουμπί ο ήχος σταματά και ο ελεγκτής επανέρχεται σε ένδειξη μετρούμενης θερμοκρασίας όταν το πρόβλημα αποκατασταθεί. Επίσης όταν η μετρούμενη θερμοκρασία υπερβεί το όριο μέτρησης θερμοκρασίας τότε ο ηχητικός βόμβος ενεργοποιείται, όλα τα ενεργοποιημένα ρελέ ανοίγουν και η ένδειξη “HH” εμφανίζεται στην οθόνη. Πατώντας οποιοδήποτε κουμπί ο βόμβος σταματά και ο ελεγκτής θα

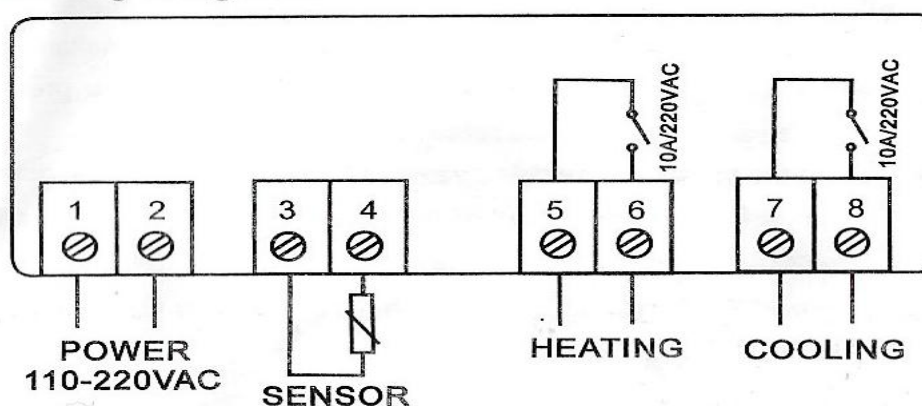
επανέλθει σε φυσιολογική λειτουργία όταν η μετρούμενη θερμοκρασία επανέλθει σε εντός ορίου εύρος μέτρησης.

Κατά την σύνδεση του ελεγκτή πρέπει οπωσδήποτε να προσέξουμε τα παρακάτω σημεία αλλιώς υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού και καταστροφής του εξοπλισμού:

- Όλες οι συνδέσεις στον ελεγκτή να γίνουν χωρίς παρουσία ρεύματος
- Η σύνδεση των καλωδίων τροφοδοσίας του ελεγκτή και των εντολών των ρελέ να γίνουν με ιδιαίτερη προσοχή αλλιώς μπορεί να έχουμε βραχυκύκλωμα και υπερφόρτωση των κυκλωμάτων
- Η λειτουργία του ελεγκτή να γίνεται πάντα μέσα στα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής ως προς το περιβάλλον και τις αντοχές του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- Η τροφοδοσία του ελεγκτή να είναι αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής
- Για καλύτερη λειτουργία του αισθητήρα το καλώδιο τροφοδοσίας του ελεγκτή και το καλώδιο του αισθητήρα πρέπει να έχουν κάποια απόσταση μεταξύ τους ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ηλεκτρικό διάγραμμα σύνδεσης των καλωδίων το οποίο υπάρχει επίσης και πάνω στον ελεγκτή μας.

Wiring diagram



(Εικόνα 54) Ηλεκτρική συνδεσμολογία STC-1000



(Εικόνα 55) Ηλεκτρική συνδεσμολογία STC-1000

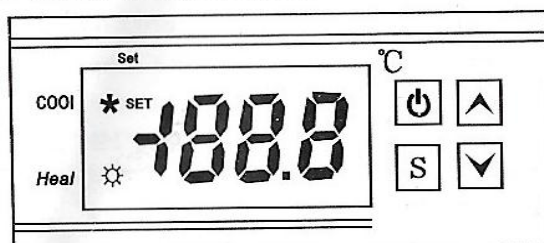
Ο τρόπος λειτουργίας του ελεγκτή είναι απλός. Για να ενεργοποιηθεί πατάμε και κρατάμε το κουμπί ON/OFF για 3 δευτερόλεπτα, ενώ αντίθετα εάν θέλουμε να τον κλείσουμε ξαναπατάμε και κρατάμε το ίδιο κουμπί πάλι για 3 δευτερόλεπτα. Όσο ο ελεγκτής είναι σε λειτουργία στην οθόνη εμφανίζεται η μετρούμενη θερμοκρασία και αν έχει ενεργοποιηθεί κάποιο ρελέ για θέρμανση ή ψύξη. Για να εισέρθουμε στο μενού του ελεγκτή πατάμε παρατεταμένα το κουμπί “S”. Πιέζοντας τα βελάκια του πάνω “^” ή του κάτω “v” μπορούμε να διαλέξουμε από τις υποκατηγορίες (code) του μενού. Για να ορίσουμε κάποια τιμή σε κάποια υποκατηγορία (code) πατάμε συνεχώς το κουμπί “S” και ταυτόχρονα με τα βελάκια του πάνω “^” ή του κάτω “v” ορίζουμε την τιμή που θέλουμε. Τέλος για να αποθηκεύσουμε την τιμή που θέλουμε αφού την έχουμε ορίσει πατάμε το κουμπί του ON/OFF στιγμιαία και το αφήνουμε. Η τιμή που θέλουμε έχει αποθηκευτεί. Αν για κάποιο λόγο δεν πατήσουμε κάποιο κουμπί για 10 δευτερόλεπτα από τη στιγμή που έχουμε εισέρθει στο μενού του ελεγκτή τότε αυτός γυρίζει σε κατάσταση λειτουργίας με την ένδειξη της μετρούμενης θερμοκρασίας στην οθόνη του. Στις Εικόνες 56-58 δείχνονται η λειτουργία της οθόνης μενού του ελεγκτή και κάποιες απεικονίσεις από το τεχνικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Menu instruction

Code	Function	Set range	Default	Note
F1	Temperature set value	-50.0~99.9°C	10.0°C	
F2	Difference set value	0.3~10.0°C	0.5°C	
F3	Compressor delay time	1~10minutes	3minutes	
F4	Temperature calibration value	-10.0°C~10.0°C	0°C	

(Εικόνα 56) Μενού STC-1000

Panel instruction



Display instruction: Three-digit LED
 +Minus digit +Status indicator light
 (Status indicator light (Cool, Heat) +
 Set indicator light(Set) Key instruction:
 "S" key: the key to set; "▲" key: Up
 key: "▼"key: Down key: "⏻":the key
 to turn on and off the power:

(Εικόνα 57) Οθόνη STC-1000

Indicator light status instruction

Indicator light	Function	Note
Cool indicator light	On:Refrigeration starts;Off;Refrigeration stops; Flash:compressor delay	Cool, Heat indicator light can not be "on" status simultaneously
Heat indicator light	On:heating starts;Off:heating stops	
Set indicator light	On:parameter setting status	

(Εικόνα 58) Λειτουργία STC-1000

Τελειώνοντας την ανάλυση του ελεγκτή πρέπει να επισημάνουμε ότι στον πίνακα μας ο πάνω ελεγκτής δείχνει την θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο κύκλωμα μας και ο αισθητήρας του συνδέεται στην είσοδο της ηλεκτροβάνας ενώ ο κάτω ελεγκτής δείχνει την θερμοκρασία του νερού που βρίσκεται στο πάνω μέρος του θερμικού μας συλλέκτη και είναι το σημείο αυτό που έχει το πιο ζεστό νερό και ο αισθητήρας του συνδέεται στην έξοδο του νερού. Ουσιαστικά ο δεύτερος ελεγκτής είναι αυτός που όταν μετρήσει την θερμοκρασία που έχουμε προγραμματίσει στέλνει εντολή στην

ηλεκτροβαλβίδα να ανοίξει και να διοχετεύσει στο κύκλωμα μας κρύο νερό ώστε να ψηχθεί το φωτοβολταϊκό πάνελ.

4.6 Μεταγωγικός διακόπτης , ψηφιακό πολύμετρο και λυχνίες φορτίου πίνακα

Πριν να αναλύσουμε την λειτουργία του μεταγωγικού διακόπτη (Εικόνα 59) πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι τροφοδοτείται κατευθείαν από το φωτοβολταϊκό πάνελ. Ο λόγος που τον χρησιμοποιούμε είναι γιατί θέλουμε μέσω των επιλογών του να μπορούμε να δίνουμε διαφορετικά φορτία στο φωτοβολταϊκό ώστε να μπορούμε να παίρνουμε μας μέγιστες τιμές σε τάση και ένταση ρεύματος. Ασταθής παράγοντας στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι η ένταση μας ηλιακής ακτινοβολίας οπότε η χρήση του διακόπτη είναι αναγκαία ώστε να μπορούμε να αυξομειώνουμε τα φορτία μας. Μια μεσαία σε ένταση ηλιακή ακτινοβολία με ένα μέγιστο φορτίο θα είχε σαν αποτέλεσμα το φωτοβολταϊκό μας να μην μπορεί να δώσει καθόλου ενδείξεις στο πολύμετρο. Οπότε σε περιπτώσεις μικρής ηλιοφάνειας τα φορτία μας πρέπει να είναι μικρά ενώ αντίθετα σε έντονη ηλιοφάνεια τα φορτία μας μπορούν να είναι όσο δυνατόν πιο κοντά στην ονομαστική ισχύ του φωτοβολταϊκού πάνελ.



(Εικόνα 59) Μεταγωγικός διακόπτης 6 θέσεων

Στον πίνακα μας έχει τοποθετηθεί στην πάνω σειρά ο μεταγωγικός διακόπτης 6 θέσεων. Η πρώτη θέση είναι η θέση OFF στην οποία δεν έχουμε κάποια έξοδο από τον διακόπτη μας. Στη δεύτερη έξοδο (θέση 1) έχουμε τροφοδοσία μέσω του διακόπτη στην κατασκευή των 2 λαμπτήρων φορτίου στην κάτω σειρά του πίνακα στην οποία μπορούμε να κάνουμε συνδυασμό 2 λαμπτήρων διαφορετικής ή ίσης ισχύς ώστε να επιτύχουμε την

επιθυμητή κατανάλωση. Στην συγκεκριμένη εργασία δοκιμάστηκαν λαμπτήρες με χαρακτηριστικά λειτουργίας 24Volt/21Watt και 24Volt/10Watt. Στην θέση 2 έχουμε παροχή ισχύος στην λάμπα φορτίου η οποία είναι τοποθετημένη στην πάνω σειρά του πίνακα μας και έχει χαρακτηριστικά 24Volt/70Watt και είναι αυτή που χρησιμοποιούμε όταν έχουμε την μέγιστη ηλιοφάνεια ώστε να επιτυγχάνουμε την μέγιστη απόδοση του φωτοβολταϊκού. Τέλος στην θέση 3 παρέχουμε ισχύ μας 2 πόλους παροχής DC για οποιαδήποτε κατανάλωση θέλουμε να συνδέσουμε στο κύκλωμα μας.

Το ψηφιακό πολύμετρο (Εικόνες 60-61) που έχουμε τοποθετήσει στην πάνω σειρά του πίνακα διευκολύνει στην αμεσότητα των μετρήσεων που θέλουμε να κάνουμε. Παρακάτω παραθέτουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του:

- Τάση λειτουργίας : 4,5 – 30 Volt DC
- Ρεύμα λειτουργίας : < 20mA
- Οθόνη : 2,8"
- Εύρος μέτρησης : DC 0 – 100 Volt , 0 – 10 Ampere
- Ελάχιστη ανάλυση : 0,1 Volt , 0,01 Ampere
- Ρυθμός ανανέωσης : > 100ms / times
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -15°C – 70°C
- Πίεση λειτουργίας : 80 – 106 kPa
- Διαστάσεις : 47x28x16 mm
- Βάρος χωρίς καλώδια : 19 gr
- Βάρος με καλώδια : 29 gr

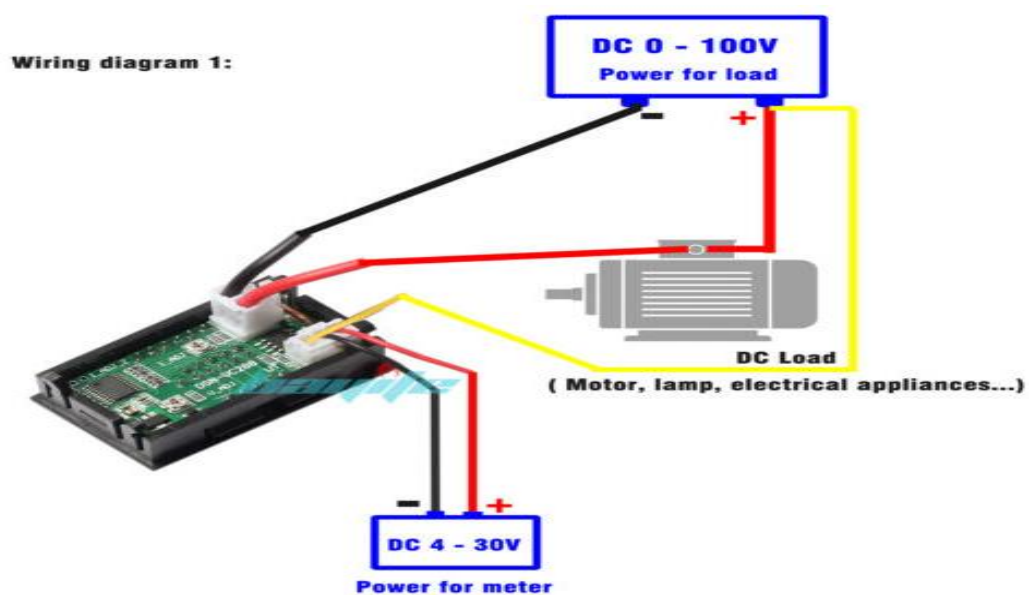


(Εικόνα 60) Πρόσοψη ψηφιακού πολυμέτρου

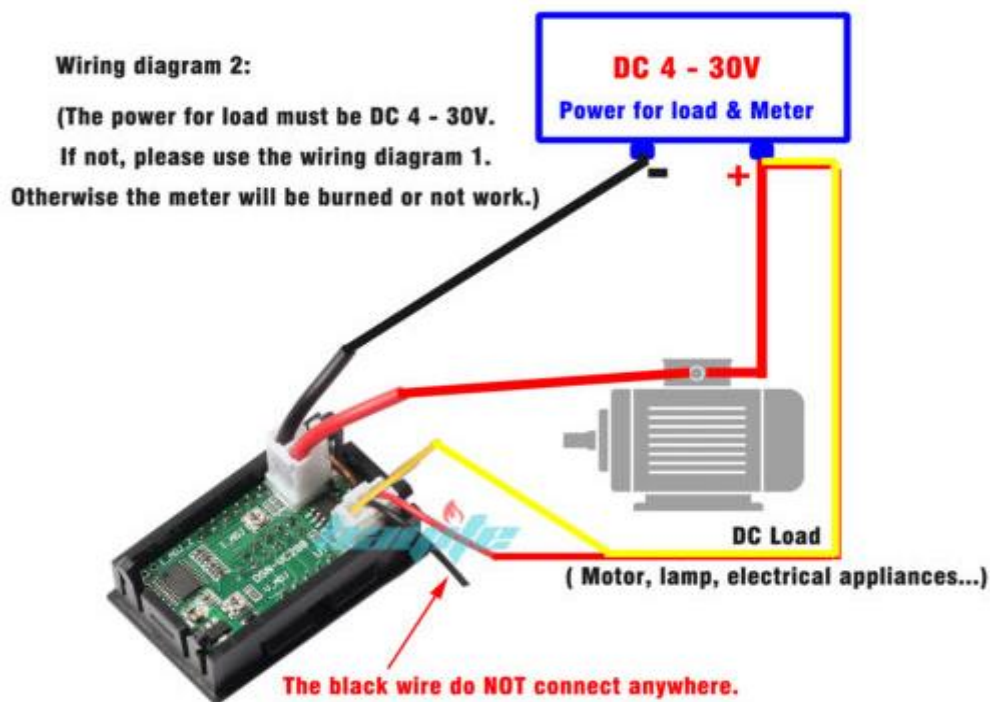


(Εικόνα 61) Πίσω όψη ψηφιακού πολυμέτρου

Το συγκεκριμένο ψηφιακό πολύμετρο έχει τάση λειτουργίας 4,5 – 30 Volt DC αλλά μπορεί να μετρήσει τιμές τάσης από 0 – 100 Volt DC. Στα παρακάτω ηλεκτρολογικά σχεδιαγράμματα φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης του με 2 διαφορετικούς τρόπους ώστε να μην προκαλέσουμε καταστροφή του εξοπλισμού μας. Στην πρώτη περίπτωση επειδή η τάση που θέλουμε να μετρήσουμε είναι παραπάνω από την τάση λειτουργίας πρέπει να τροφοδοτήσουμε το πολύμετρο μας από ξεχωριστή πηγή ενώ στην δεύτερη περίπτωση η πηγή τροφοδοσίας συμπίπτει με την τάση που θέλουμε να μετρήσουμε οπότε το κύκλωμα μας είναι πολύ πιο απλό.



(Εικόνα 62) Όταν η τάση μέτρησης είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας



(Εικόνα 63) Όταν η τάση μέτρησης είναι μέσα στα όρια μας τάσης λειτουργίας

Στην παρούσα εργασία το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει μέγιστη τάση εξόδου τα 20 Volt οπότε η συνδεσμολογία του πολυμέτρου μας είναι η δεύτερη που είναι αρκετά πιο απλή από την πρώτη και δεν χρειάζεται επιπλέον πηγή τροφοδοσίας.

4.7 Ηλεκτροβαλβίδα, μανόμετρο και διάφορα παρελκόμενα

Στην συγκεκριμένη κατασκευή επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί μια ηλεκτροβαλβίδα στην είσοδο του νερού του θερμικού συλλέκτη ώστε να επιτύχουμε ελεγχόμενη είσοδο του ρευστού (Εικόνες 64-65). Έτσι αυτή ελέγχεται μέσω του ψηφιακού ελεγκτή θερμοκρασίας που βρίσκεται στον πίνακα ελέγχου μας και συγκεκριμένα από αυτόν που μετράει το ζεστό νερό εξόδου από τον θερμικό συλλέκτη. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μας είναι τα παρακάτω:

- Τάση λειτουργίας : 220 Volt AC
- Είσοδος και έξοδος ρευστού : Χάλκινοι μαστοί με αρσενικό σπείρωμα διατομής ½”
- Πίεση λειτουργίας : 0 – 0,8 Μρα
- Μέγιστη θερμοκρασία ρευστού : 80°C
- Θέση λειτουργίας : NC (normally closed)
- Τύπος βαλβίδας : Διάφραγμα το οποίο λειτουργεί με servo



(Εικόνα 64) Το υδραυλικό τμήμα της ηλεκτροβαλβίδας



(Εικόνα 65) Το ηλεκτρικό τμήμα της ηλεκτροβαλβίδας

Η ηλεκτροβαλβίδα είναι κατάλληλη για χρήση με νερό ή ρευστά με μικρή πυκνότητα, ενώ επιπλέον παρέχει προστασία από υπερπίεση (Εικόνα 66). Έτσι όσο η πίεση εξόδου από την ηλεκτροβαλβίδα είναι μικρότερη από την πίεση εισόδου σε αυτή η ηλεκτροβαλβίδα λειτουργεί κανονικά. Αν αυτή υπερβεί την πίεση εισόδου κόβει αυτόματα την έξοδο μας για να προστατεύσει την εγκατάσταση μας μετά την ηλεκτροβαλβίδα.



(Εικόνα 66) Το σύστημα προστασίας από υπερπίεση της ηλεκτροβαλβίδας

Ο τρόπος λειτουργίας μας είναι παρόμοιος σαν αυτόν μιας κανονικά κλειστής επαφής. Έτσι όσο δέχεται εντολή 220Volt μας επαφές μας ανοίγει και επιτρέπει την διέλευση του ρευστού με φορά αυτή που μας δείχνει το βελάκι. Όταν η τάση διέγερσης μας σταματήσει τότε αυτή κλείνει και παραμένει σε αυτήν την κατάσταση που ονομάζεται και κατάσταση ηρεμίας μας ηλεκτροβαλβίδας.

Επίσης στην είσοδο του νερού μετά την ηλεκτροβαλβίδα και πριν τον θερμικό συλλέκτη έχει τοποθετηθεί ένα μανόμετρο νερού το οποίο μας δείχνει την πίεση που ασκείται εντός του συστήματος μας (Εικόνα 67). Αυτό έχει τοποθετηθεί καθαρά για λόγους ασφαλείας και παρατήρησης. Η προβλεπόμενη ένδειξη του πρέπει να βρίσκεται στο μηδέν μιας και η ύπαρξη ελεύθερης ροής από την έξοδο του θερμικού συλλέκτη

προφυλάσσει το σύστημα μας από υπερπίεσεις. Η πιθανή ένδειξη πίεσης οδηγεί στην διαπίστωση ότι είτε δεν έχουμε ελεύθερη έξοδο του νερού από τον συλλέκτη είτε ότι η ροή εισόδου του νερού είναι μεγαλύτερη από τη ροή εξόδου του. Οπότε για να συνεχίσουμε το πείραμα μας θα πρέπει πρώτα να αποκαταστήσουμε την ανωμαλία που οδηγεί στο παραπάνω φαινόμενο.



(Εικόνα 67) Το μανόμετρο στον θερμικό συλλέκτη

Τέλος για την ολοκλήρωση μας κατασκευής μας χρησιμοποιήθηκαν κάποια στηρίγματα σωληνώσεων και κάποια μεταλλικά κομμάτια τα οποία βοήθησαν στην δημιουργία μας ενιαίου συνόλου το οποίο είναι πιο εύκολο στην τοποθέτηση του σε κάποιο οριζόντιο επίπεδο και παρατήρηση του για την καταγραφή των πειραματικών μας δεδομένων.

4.8 Περιγραφή λειτουργίας του υβριδικού φωτοβολταϊκού συλλέκτη

Αρχικά προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε η αρχική πλήρωση του θερμικού συλλέκτη με νερό να γίνει αργά για αποφυγή απότομης αύξησης της πίεσης, σε κάθετη θέση και στο τέλος να διαπιστωθεί ότι δεν έχει εγκλωβιστεί αέρας μέσα στο σύστημα μας. Μετά να του δοθεί κατάλληλη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο και πάντα με νότιο προσανατολισμό. Η σύνδεση του με κάποια πηγή νερού η οποία βρίσκεται υπό πίεση όπως για παράδειγμα το δίκτυο ύδρευσης μιας πόλης αλλά και η προεγκατάσταση κάποιου μηχανισμού συλλογής του νερού από την έξοδο του θερμικού συλλέκτη πρέπει να γίνουν με προσοχή ώστε να μην έχουμε διαρροές σε ένα περιβάλλον στο οποίο έχουμε και παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος. Παράλληλα πρέπει να προσέξουμε το επίπεδο που

συλλέγουμε τα νερά από την έξοδο να είναι πιο ψηλά από την έξοδο του νερού έτσι ώστε να αποφύγουμε το φαινόμενο του σιφωνισμού όταν η ηλεκτροβαλβίδα κλείσει αλλά θα έχουμε συνέχιση ροής νερού προς την έξοδο μας. Στη συνέχεια χωρίς να έχουμε συνδέσει τον πίνακα ελέγχου με κάποια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας κάνουμε τις απαραίτητες συνδέσεις αυτού με το υβριδικό μας φωτοβολταϊκό/θερμικό συλλέκτη. Τέλος κάνουμε έναν προσεκτικό έλεγχο όλων των παραπάνω και τοποθετούμε τον ρευματολήπτη του πίνακα σε κάποια κοινή πρίζα μιας εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης η οποία προστατεύεται υποχρεωτικά και από ασφάλεια βραχυκυκλώματος και από ρελέ διαφυγής ρεύματος για την διασφάλιση της αποφυγής τραυματισμού μας από ηλεκτρικό σοκ.



(Εικόνα 68) Τελικό αποτέλεσμα συναρμολόγησης

Στη συνέχεια θέτουμε στον πίνακα ελέγχου μας την πρώτη ασφάλεια από αριστερά σε θέση ON και ταυτόχρονα παρατηρούμε ότι έχουμε ενεργοποίηση της πρώτης από αριστερά λυχνίας. Αν για κάποιο λόγο δεν ανάψει αυτή τότε πρώτα πρέπει να αποκαταστήσουμε το πρόβλημα τροφοδοσίας και μετά να συνεχίσουμε. Ακολούθως, θέτουμε την δεύτερη από αριστερά ασφάλεια σε θέση ON και έχουμε ταυτόχρονη ενεργοποίηση της ενδεικτικής λυχνίας και των ψηφιακών ελεγκτών θερμοκρασίας.

Περιμένουμε μέχρι οι θερμοκρασίες των 2 ελεγκτών να έχουν περίπου την ίδια τιμή. Μετά προγραμματίζουμε τις επιθυμητές θερμοκρασίες και χρόνους στον ελεγκτή που μας δείχνει την θερμοκρασία εξόδου του νερού και ο οποίος ελέγχει και την ηλεκτροβαλβίδα μας. Αφήνουμε το σύστημα μας σε ηρεμία και παρατηρούμε τις αλλαγές στις θερμοκρασίες. Κυρίως μας ενδιαφέρει η θερμοκρασία εξόδου του νερού η οποία ουσιαστικά μας δείχνει την θερμοκρασία στο πάνω μέρος του συλλέκτη μας το οποίο είναι και το θερμότερο σημείο μας. Συνήθως η θερμοκρασία του νερού σε ένα αστικό δίκτυο είναι μικρότερη από τους 25°C οπότε καλό είναι να προγραμματίζουμε θερμοκρασία εξόδου νερού κοντά στους 40°C ώστε να μην έχουμε και υπερθέρμανση του φωτοβολταϊκού πλαισίου μας.

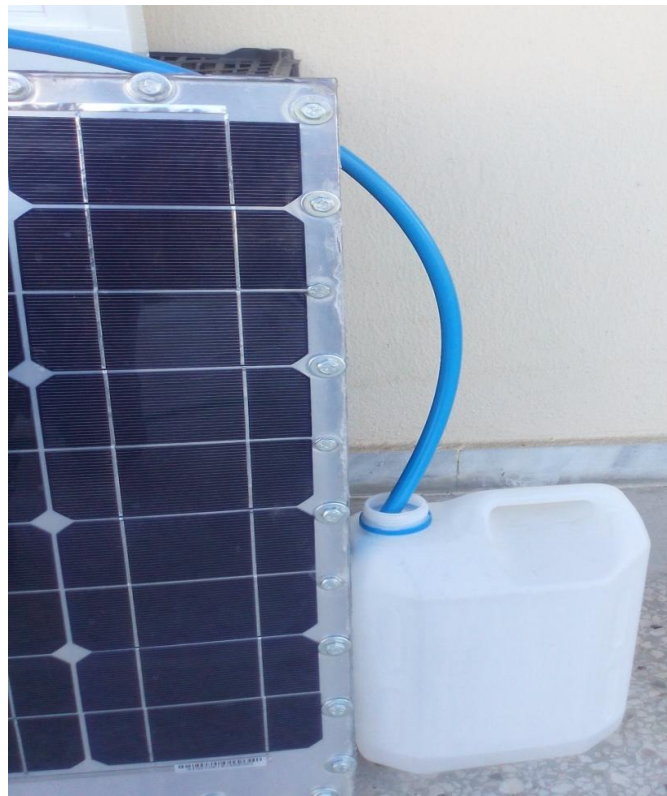


(Εικόνα 69) Πίνακας ελέγχου κατά την λειτουργία του

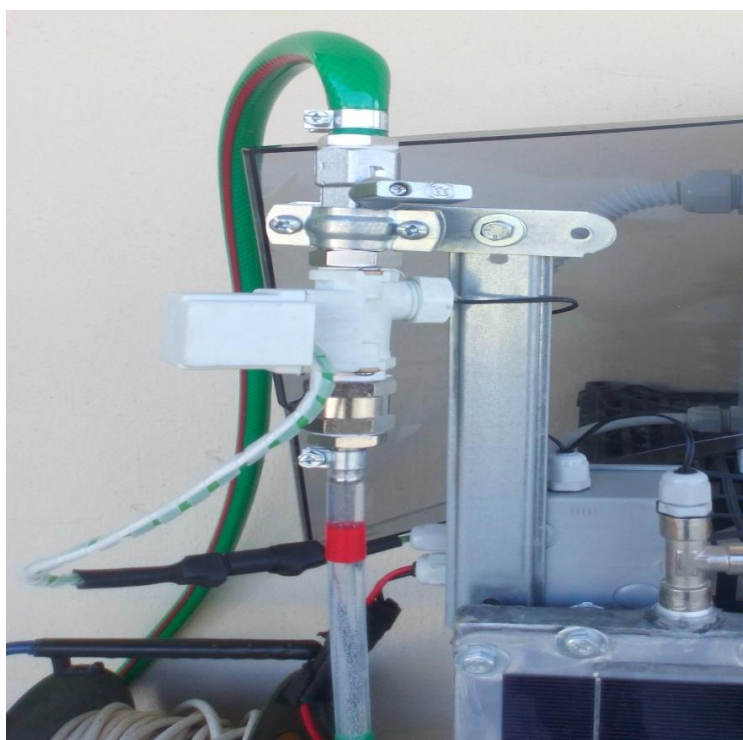
Αφήνουμε το σύστημα μας σε λειτουργία και παρατηρούμε την αύξηση της θερμοκρασίας στην έξοδο του νερού. Ανάλογα με την ηλιοφάνεια και την θερμοκρασία περιβάλλοντος η μεταβολή στη θερμοκρασία του νερού μπορεί να είναι απότομη ή ομαλή. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί μείωση της θερμοκρασίας του νερού αν έχουμε ξαφνική μείωση της ηλιοφάνειας ή ξαφνικό έντονο άνεμο ο οποίος θα ψύξει τον θερμικό μας συλλέκτη. Φυσικά αυτές οι μεταβολές θα είναι ομαλές λόγω της

θερμοχωρητικότητας του νερού. Αφού έχουμε προγραμματίσει στον ψηφιακό ελεγκτή θερμοκρασίας για παράδειγμα επιθυμητή θερμοκρασία τους 35°C και την διαφορική θερμοκρασία τους 5°C παρατηρούμε την θερμοκρασία εξόδου του νερού. Όταν αυτή φτάσει τους 40°C δηλαδή το άθροισμα της επιθυμητής και διαφορικής θερμοκρασίας πρέπει να διαπιστώσουμε ότι έχει δοθεί εντολή στην ηλεκτροβαλβίδα, η οποία έχει ανοίξει και ψυχρό νερό από το δίκτυο εισόδου εισέρχεται στον θερμικό συλλέκτη ενώ ταυτόχρονα ζεστό νερό εξέρχεται από την έξοδο του νερού προς το δοχείο συλλογής. Παράλληλα διαπιστώνουμε μείωση της θερμοκρασίας του νερού εντός του θερμικού συλλέκτη. Όταν αυτή φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία μας δηλαδή σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα τους 35°C ο ψηφιακός ελεγκτής θερμοκρασίας κλείνει την ηλεκτροβαλβίδα μας και η εισαγωγή κρύου νερού σταματά να υφίσταται.

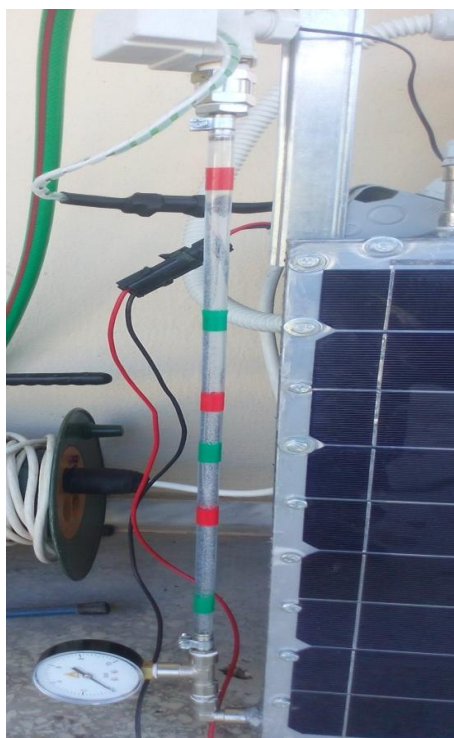
Λόγω πίεσης που θα δημιουργηθεί εντός του θερμικού συλλέκτη από την πίεση του δικτύου ύδρευσης μπορεί η ροή στην έξοδο του νερού να συνεχιστεί και μετά το κλείσιμο της ηλεκτροβαλβίδας. Αυτό θα σταματήσει όταν η πίεση εντός του συλλέκτη θα εξισορροπηθεί με την πίεση του περιβάλλοντος και η στάθμη του νερού θα βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του συλλέκτη.



(Εικόνα 70) Δοχείο συλλογής ζεστού νερού το οποίο πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με την έξοδο νερού.



(Εικόνα 71) Παροχή νερού με λάστιχο, βάννα ρύθμισης ροής εισόδου νερού, ηλεκτροβαλβίδα, διαφανής σωλήνας στάθμης νερού



(Εικόνα 72) Σωλήνας στάθμης νερού, η πράσινη ταινία ανά 2 λίτρα και η κόκκινη για τα μονά λίτρα.

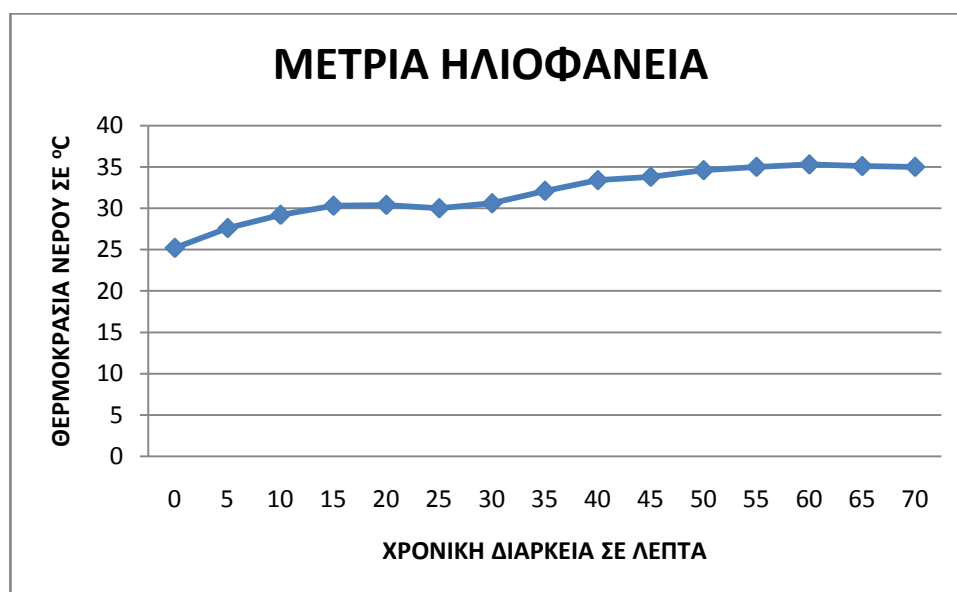
Τελειώνοντας την περιγραφή του συστήματος μας παραθέτουμε ένα κοστολόγιο της παραπάνω κατασκευής υπολογίζοντας μόνο τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Σίγουρα μια αντίστοιχη κατασκευή σε βιομηχανική κλίμακα και πιο φθηνή θα ήταν λόγω του όγκου των υλικών που θα αγοραζόντουσαν σε πιο προσιτές τιμές αλλά και η εφαρμογή της θα ήταν καλύτερη λόγω των επαγγελματικών εργαλείων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Παρόλα αυτά όπως θα δούμε στο παρακάτω υποκεφάλαιο τα αποτελέσματα είναι ορατά μιας και θέρμανση νερού έχουμε αλλά και ψύξη του φωτοβολταϊκού μας στο οποίο χωρίς τη χρήση του θερμικού συλλέκτη θα είχαμε εμφάνιση θερμοκρασιών μπορεί και κατά 30°C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ	ΤΙΜΗ(€)
Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	70
Φύλλο λαμαρίνας και σίδερα για τον θερμικό συλλέκτη	10
Κόλλα στεγανοποίησης	19
Βίδες, ροδέλες, ροδέλες ασφαλείας, παξιμάδια, μεταλλικά εξαρτήματα	20
Μαστοί εισαγωγής νερού, γωνίες νερού, διακλαδωτήρες νερού ,σφικτήρες, λάστιχο εισαγωγής και εξαγωγής νερού, μανόμετρο, υδραυλικά εξαρτήματα	35
Ηλεκτρολογικός πίνακας	20
Υλικό ράγας (ασφάλειες, λυχνίες, πρίζα πίνακα)	15
Κανάλια καλωδίων, καλώδια, εύκαμπτος σωλήνας δρομολόγησης καλωδίων, θερμοσυστελλόμενα, ακροδέκτες επαφών	10
Ψηφιακοί ελεγκτές θερμοκρασίας	15
Ψηφιακό πολύμετρο	6
Μεταγωγικός διακόπτης, πόλοι παροχής dc, λάμπες φορτίου	14
Ηλεκτροβαλβίδα	8
Εξωτερικό κουτί διακλάδωσης ,σωλήνας προστασίας καλωδίων, φίσσες σύνδεσης εξαρτημάτων	10
ΣΥΝΟΛΟ	252

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα

Η παραπάνω πειραματική κατασκευή δοκιμάστηκε στη Βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα στην πόλη της Καβάλας με νότιο προσανατολισμό και σε μέρες με έντονη και μέτρια ηλιοφάνεια. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν περίπου στους 25°C όταν είχαμε έντονη ηλιοφάνεια και στους 20°C όταν είχαμε μέτρια ηλιοφάνεια κυρίως λόγω των ανέμων που υπήρχαν. Παρακάτω παραθέτονται κάποια διαγράμματα και πίνακες στα οποία φαίνεται η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού εντός του θερμικού συλλέκτη καθώς επίσης και διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η μείωση της θερμοκρασίας του νερού εντός του συλλέκτη όταν ενεργοποιείται η ηλεκτροβαλβίδα μας και έχουμε εισαγωγή νερού εντός του συστήματος μας.



	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΕ ΛΕΠΤΑ														
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
°C	25,2	27,6	29,2	30,3	30,4	30	30,6	32,1	33,4	33,8	34,6	35	35,3	35,1	35

Παρατηρούμε ότι σε συνθήκες μέτριας ηλιοφάνειας έχουμε σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στον συλλέκτη μας από τους 25°C μέχρι τους 35°C. Στο ανώτερο αυτό όριο οι καιρικές συνθήκες δεν βοηθούσαν καθόλου μιας και ύπαρξη έντονων νεφώσεων είχαμε στον ουρανό αλλά και ο άνεμος ήταν αρκετά δυνατός και

έψυχε τον θερμικό συλλέκτη μας. Αντίθετα σε συνθήκες έντονης ηλιοφάνειας τα αποτελέσματα ήταν ξεκάθαρα και φαίνονται παρακάτω.



	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΕ ΛΕΠΤΑ														
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
°C	25	27,8	29,4	31,6	33,5	35,9	38,2	39,9	41,2	42,9	44,2	45,1	45,9	46,3	46,7

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι ενώ η θερμοκρασία ξεκίνησε από την ίδια τιμή των 25°C έφτασε στο ίδιο χρονικό διάστημα μέχρι την θερμοκρασία των 47°C περίπου. Πρέπει να επισημάνουμε ότι οι μετρήσεις έγιναν στα μέσα Μαΐου σε μια περιοχή που ναι μεν έχει αρκετή ηλιοφάνεια αλλά σίγουρα στην χώρα μας υπάρχουν περιοχές όπως αυτές της νότιας Ελλάδας στις οποίες το ηλιακό δυναμικό είναι πιο έντονο. Στη συνέχεια σε θερμοκρασία 46,5°C είχαμε ενεργοποίηση του ψηφιακού ελεγκτή μας και τον είχαμε ορίσει να ανοίξει σε αυτή την τιμή και μέσω της ηλεκτροβαλβίδας μας είχαμε είσοδο ψυχρού νερού στο σύστημα μας. Η ροή του νερού στην είσοδο ήταν μικρή μιας και δεν θέλαμε να είχαμε πιθανό πρόβλημα με υπερπίεση αλλά παρόλα αυτά είχαμε ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας του νερού εντός του συλλέκτη όπως φαίνεται στο τελευταίο διάγραμμα. Μετά από διάστημα 10 λεπτών είχαμε μείωση στην επιθυμητή θερμοκρασία, κλείσιμο της ηλεκτροβαλβίδας και ξεκίνημα της διαδικασίας θέρμανσης του νερού εντός συλλέκτη από την αρχή.



	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΕ ΛΕΠΤΑ									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
°C	46,5	36,7	29,5	36,9	37,8	39,7	41,8	43,6	45,1	46,6

Από τις παραπάνω τιμές φαίνεται ξεκάθαρα ότι και η μείωση της θερμοκρασίας του νερού έγινε άμεσα αλλά και η αναθέρμανση του έγινε πολύ πιο γρήγορα από ότι η αρχική θέρμανση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη αποθηκευμένης θερμότητας στο μεταλλικό πλαίσιο του θερμικού συλλέκτη η οποία άμεσα πέρασε στο νερό μας.

Δυστυχώς η μελέτη του φωτοβολταϊκού πλαισίου δεν μπόρεσε να γίνει με λεπτομερή τρόπο λόγω μη ύπαρξης κατάλληλου εργαστηριακού εξοπλισμού όπως ένα πυρανόμετρο για μέτρηση της ακτινοβολίας του ήλιου. Επίσης η απόσταση ανάμεσα στην πόλη που έγινε η παρούσα πτυχιακή (Καβάλα) και στην πόλη του τμήματος (Χανιά) στερήσε την εργασία από την υποστήριξη που θα μπορούσε να έχει από ένα εργαστηριακό περιβάλλον. Τέλος ενδιαφέρον θα είχε αν υπήρχε ένα δεύτερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο ίδιο με το αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα μας για να γίνει αντιπαραβολισμός των αποδόσεων ανάμεσα στο φωτοβολταϊκό που ψύχεται μόνο από το περιβάλλον και από αυτό που ψύχεται μέσω του θερμικού συλλέκτη που φτιάξαμε. Έτσι θα επιβεβαιώναμε και πρακτικά την θεωρία η οποία μας διδάσκει ότι ένα φωτοβολταϊκό πάνελ όταν ψύχεται επαρκώς η απόδοσή του είναι μεγαλύτερη από ότι αν δεν ψύχεται καλά λόγω περιβαλλοντικών καταστάσεων. Μετά την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής η όλη κατασκευή δωρίζεται στο τμήμα για το οποίο εκπονήθηκε με την ελπίδα

να γίνει περαιτέρω έρευνα της και για οποιαδήποτε πληροφορία και βοήθεια χρειαστεί θα είμαι πάντα πρόθυμος να συνδράμω.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιωάννης Κ. Καλδέλλης - Κοσμάς Α. Καββαδίας (Υπολογιστικές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας) Εκδόσεις Σταμούλη
2. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης (Φωτοβολταϊκά συστήματα) Εκδόσεις Ζήτη
3. Π. Γιαννούλης (Νέες πηγές ενέργειας)
4. Κ. Καγκαράκης (Φωτοβολταϊκή τεχνολογία) Εκδόσεις Συμμετρία
5. Μ. Καραπιδάκης (Ηπιων Μορφών Ενέργειας Ι) Εργαστήριο ΤΕΙ Κρήτης
6. Μ. Καραπιδάκης (Ηπιων Μορφών Ενέργειας ΙΙ) Εργαστήριο ΤΕΙ Κρήτης
7. Σημειώσεις Μαθήματος «Σχεδιασμός & Διαχείριση Συστημάτων ΑΠΕ»
8. ΚΑΠΕ (Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας)
<http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24761&locale=el>
9. Γ. Τσακαλούδης (πτυχιακή εργασία) Μελέτη και εγκατάσταση αυτόνομου υβριδικού συστήματος.
10. Π. Θέμελης (διπλωματική εργασία) Βελτίωση της απόδοσης φωτοβολταϊκών σε κτηριακές εφαρμογές.
11. Α. Νικολακοπούλου (διπλωματική εργασία) Μελέτη υβριδικού φωτοβολταϊκού θερμικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού.
12. Α. Αποστολοπούλου (διπλωματική εργασία) Σύνθετες διατάξεις φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συσκευών.
13. Π. Γεωργοστάθης (διπλωματική εργασία) Μελέτη συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συλλεκτών.