

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ-ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (PV-T)
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ
ΠΛΑΙΣΙΟ**



ΒΙΡΓΙΝΙΑ ΚΩΣΤΗ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΚΑΠΛΑΝΗΣ**

ΠΑΤΡΑ, 9/07/2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαίδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και ασχολείται με την απόδοση και τεχνολογία ενός φωτοβολταϊκού-θερμικού πάνελ.

Αναπτύσσονται οι λόγοι ανάπτυξής τους, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τα πιο διαδεδομένα φωτοβολταϊκά-θερμικά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και η λειτουργία τους, η εφαρμογή αυτών και ο τρόπος με τον οποίον επηρεάζεται η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Τέλος έχει γίνει η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου όπου από τα αποτελέσματα των υπολογισμών και των μετρήσεων που έγιναν έχουν βγει κάποια συμπεράσματα όσον αφορά την απόδοση των συστημάτων αυτών, την ηλεκτρική και θερμική παραγωγή.

Ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές μου κ. Σωκράτη Καπλάνη για τις γνώσεις που μου μετέδωσε και τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των φωτοβολταϊκών, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Θεωδορόπουλο Νικόλαο για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας και τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Μπαράκο, για την βοήθεια του και συμβουλές του τα τελευταία χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη. Ο λόγος ανάπτυξής τους είναι πως η απόδοσή τους εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία που αναπτύσσετε στην επιφάνειά τους με άμεσο αποτέλεσμα κατά την αύξηση της θερμοκρασίας να έχουμε μεγάλες απώλειες. Έτσι για τα φωτοβολταϊκά γίνονται πολλές έρευνες και μελέτες για την τελειοποίησή τους.

Όπως θα δούμε και από τους θεωρητικούς υπολογισμούς και από τις μετρήσεις που έγιναν, σε τι ποσοστό είναι αυτή η μείωση ποσο επιρεάζεται δηλαδή η απόδοσή του αλλά και πόσο μπορεί να αυξηθεί με την διοχέτευση νερού στο σύστημα

Στην μελέτη που έχει γίνει έχει χρησιμοποιηθεί ένα φωτοβολταϊκό 80W στο οποίο τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος η συλεκτική επιφάνεια ενός ηλιακού συλλέκτη και χρησιμοποιήθηκε ένα δοχείο 40lt και μία μικρή αντλία για την κυκλοφορία του νερού στον συλλέκτη.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε πέντε κεφάλαια στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε σήμερα, στο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε σήμερα λόγο της σταδιακής εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων αλλά και του περιβαλλοντικού κόστους λόγο της κακής διαχείρισης αυτών. Στην συνέχεια αναπτύσσονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα υπερ και τα κατά και η χρησιμότητά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η ηλιακή ενέργεια πιο αναλυτικά και τα χαρακτηριστικά της μεγέθη όπου είναι η βάση για την κατανόηση των υπολογισμών που γίνονται στα επόμενα κεφάλαια.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο η δομή και λειτουργία των φωτοβολταϊκών τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, οι τύποι φωτοβολταϊκών που υπάρχουν αλλά και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών ώστε να καταλήξουμε στον λόγο κατασκευής και έρευνας ενός φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη στο επόμενο κεφάλαιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι λόγοι ανάπτυξης και η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών-θερμικών πλαισίων και τέλος οι τύποι φωτοβολταϊκών-θερμικών πλαισίων που υπάρχουν και πάνω σε αυτά αναπτύσσονται έρευνες.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η ανάπτυξη της παρούσας μελέτης, ο τρόπος κατασκευής του φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου, οι τύποι των εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς και σε πίνακες βρίσκονται οι πιο χαρακτηριστικές μετρήσεις που βάση αυτών έχουν βγει και τα συμπεράσματα.

Τέλος βάση των συγκρίσεων των υπολογισμών που έγιναν για την συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου με ένα ηλιακό συλλέκτη, το αποτέλεσμα είναι πως η συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη δηλαδή το άθροισμα της ηλεκτρικής και θερμικής του απόδοσης φθάνει στο 43% με τάση στην έξοδο μεταξύ των τιμών 20 και 19,6 Volt και το άθροισμα της θερμικής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη και την ηλεκτρικής του φωτοβολταϊκού 91% , όπου η διαφορά οφείλεται στην κατά πολύ μικρότερη επιφάνεια του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη αλλά και την παλαιότητά του και στο υψηλών προδιαγραφών ηλιακό συλλέκτη που το συγκρίναμε. Τέλος από τον υπολογισμό της ηλεκτρικής

απόδοσης του φωτοβολταϊκού παρατηρούμε πως η ηλεκτρική του απόδοση για ένα εύρος τιμών πέφτει από 10,7% στο 10% και η τιμή της τάσης να κυμαίνεται από 19,5 έως και 18Volt πολύ χαμηλότερα από ότι στο φωτοβολταϊκο-θερμικό πλαίσιο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	1
1.2 ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	2
1.2.1 Γαιάνθρακας	2
1.2.2 Πετρέλαιο	4
1.2.3 Φυσικό Αέριο	5
1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	6
1.3.1 Ηλιακή Ενέργεια	6
1.3.2 Ανεμογεννήτριες	7
1.3.3 Βιομάζα.....	9

2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	10
2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ.....	12
2.2.1 Χρήσιμα μεγάθη στις εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας.....	13

3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ PV-ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	16
3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ PV	18
3.3 ΤΥΠΟΙ PV	19

3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ PV-ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	20
--	----

4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ-ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ PV/T	22
---------------------------	----

4.2 ΤΥΠΟΙ PV/T	23
----------------------	----

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ PV/T	26
--	----

5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	28
------------------------------	----

5.2.1 Τύποι και σταθερές για τους υπολογισμούς f-chart, Q_u , T_c , n_{th} , n_{el}	28
--	----

5.3 ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	38
---	----

5.3.1 Διαγράμματα από τους υπολογισμούς των f-chart, Q_u , T_c , n_{th} , n_{el}	38
---	----

5.3.2 Διαγράμματα των μετρήσεων χωρίς την παροχή νερού	46
---	----

5.3.3 Διαγράμματα των μετρήσεων με παροχή νερού στον συλλέκτη	48
--	----

5.3.4 Διαγράμματα μετρήσεων με παροχή νερού στον συλλέκτη από την αρχή που μπαίνει σε λειτουργία	52
---	----

5.3.5 Συμπεράσματα και συγκρίσεις από τις μετρήσεις και τα διαγράμματά τους	55
--	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	61
-----------------	----

1. ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ενέργεια παρουσιάζεται σε πολλές μορφές, θερμική, ηλιακή (ακτινοβολία), μηχανική, χημική και πυρηνική κ.λ.π. Δεν μπορούμε όμως απευθείας να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις μορφές ενέργειας, χρειάζεται να μετατραπούν σε ηλεκτρική.

Η ενέργεια μπορεί να αλλάξει μορφή, όμως η συνολική ποσότητα ενέργειας σε ένα μεμονωμένο σύστημα δεν μπορεί να μεταβληθεί. Έτσι η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί (εκ του μηδενός) ούτε να καταστραφεί αυτός είναι ένας από τους πιο σημαντικούς και ακλόνητα παγιωμένους νόμους της φυσικής, δηλαδή το επίπεδο της ενέργειας παραμένει σταθερό σε ένα κλειστό σύστημα. Η γή θεωρείται ένα κλειστό σύστημα.

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι πηγές ενέργειας χωρίζονται σε τρία είδη, τις ανανεώσιμες (μια μορφή ενέργειας που αναπληρώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα και παράγεται συνεχώς από άλλες πρωτογενείς), όπως ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα, ανεμογεννήτριες, γεωθερμία. Πολλές από αυτές αναπτύχθηκαν σχεδόν έναν αιώνα πριν αλλά τώρα διαδίδονται ευρύτατα Άλλη μορφή είναι τα ορυκτά καύσιμα όπως αναφέρθηκαν, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και το πετρέλαιο και τέλος την πυρηνική ενέργεια μέσω σύντηξης ή σχάσης όπου παρόλο που με αυτόν τον τρόπο έχουμε έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, τα πυρηνικά απόβλητα είναι ραδιενεργά

Οι ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή δευτερεύουσας πηγής ενέργειας όπως τον ηλεκτρισμό όπου είναι και η κύρια μορφή ενέργειας όπου καταναλώνεται από την πλειονότητα του πληθυσμού.

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε βρίσκεται κυρίως στην αποθήκευση της ενέργειας. Μία αποθήκη ενέργειας ονομάζουμε το καύσιμο. Μεγάλα ποσά ενέργειας είναι αποθηκευμένα στο φυσικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο, κάνοντάς τα τις τρεις πιο ευρέως και σημαντικές πηγές ενέργειας στον κόσμο. Δυστυχώς όταν τα ορυκτά καύσιμα καίγονται για να απελευθερώσουν ενέργεια, η αρχική καύσιμη ύλη που έχει χρησιμοποιηθεί δεν μπορεί να δημιουργηθεί ξανά χωρίς να καταναλώσουμε περισσότερη ενέργεια από την ποσότητα που αποκτήθηκε όπως επίσης κατά την καύση αυτών παράγονται ρυπαντικές ουσίες μέσω των καυσαερίων και λόγω της εκτεταμένης εκπομπής τους έχει άμεσο αποτέλεσμα την περιβαλλοντική καταστροφή. Για αυτόν τον λόγο πρέπει να βρούμε βιώσιμες, απεριόριστες πηγές ενέργειας και να αξιοποιηθούν καταλλήλως προτού οι περιορισμένες μας πηγές εξαντληθούν.

Η καύση ορυκτών καυσίμων (π.χ. πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο), η συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών, η χρήση λιπασμάτων, η ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων, και οι βιομηχανικές διεργασίες εκλύουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η γη ζεσταίνεται σαν να ήταν καλυμμένη με μια ζεστή κουβέρτα που την εμποδίζει να πάρει αέρα,

και οι επιπτώσεις είναι ήδη ορατές. Ο όρος κλιματική αλλαγή ή «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αναφέρεται στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης, η οποία προκαλείται από την αύξηση στην ατμόσφαιρα των συγκεντρώσεων αερίων που έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν θερμότητα - όπως ακριβώς το γυαλί παγιδεύει τη θερμότητα σε ένα θερμοκήπιο. [9]

1.2. ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα ορυκτά καύσιμα είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή πηγής ενέργειας από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης λίγο πριν την αρχή του 20^{ου} αιώνα. Τα ορυκτά καύσιμα είναι σχετικά εύκολο να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, διότι το μόνο που χρειάζεται είναι μία απλή καύση. Ωστόσο, το πρόβλημα με τα ορυκτά καύσιμα όπως αναφέρθηκε είναι οι επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ορυκτών καυσίμων, θα αναλυθούν παρακάτω οι τρεις βασικοί, ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

1.2.1 Γαιάνθρακας

Το πρώτο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε για φωτιά, και που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, είναι το ξύλο. Το ξύλο παράγεται συνεχώς από τη φύση και έτσι, θεωρητικά, θα πρέπει να διαρκέσει όσο και η ίδια η Γη, στην παρούσα περίπου μορφή της. Ωστόσο, υπάρχει το ενδεχόμενο η κατανάλωση του ξύλου να είναι τόσο μεγάλη, ώστε η φύση να μην προλαβαίνει να το αντικαταστήσει.

Πραγματικά, αυτό το ενδεχόμενο γίνεται αναπόφευκτο όσο μεγαλώνει ο πληθυσμός και αυξάνονται, αντίστοιχα, οι ποσότητες ξύλου που καταναλώνει. Για ένα μεγάλο διάστημα, οι δραστηριότητες αυτές ήταν καθαρά τυχαίες και ανοργάνωτες. Αλλά, οι γαιάνθρακες που υπήρχαν κοντά στην επιφάνεια της Γης γίνονταν όλο και πιο δυσεύρετοι και ο άνθρωπος άρχισε σιγά σιγά να τους αναζητεί σκάβοντας το έδαφος, κάτι που συνέβη αρχικά στην Κίνα. Στην Αγγλία, η εξόρυξη γαιανθράκων έγινε μια σοβαρή δραστηριότητα στις αρχές του δέκατου τρίτου αιώνα. Γνωρίζουμε ότι το 1228 μεταφερόταν γαιάνθρακες με πλοίο από το Νιούκασλ στο Λονδίνο.

Οι γαιάνθρακες έχουν σχηματιστεί από δάση, τα οποία καταπλακώθηκαν από πετρώματα και υπέστησαν ενανθράκωση από το αναερόβιο βακτήριο του άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη (αρχικό στάδιο αναθράκωσης) στον ανθρακίτη (τελικό στάδιο αναθράκωσης) είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η μετατροπή της φυτικής ύλης σε άνθρακα ξεκίνησε πριν 400 περίπου εκατομμύρια χρόνια και βεβαίως συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι ειδικοί επιστήμονες εκτιμούν ότι απαιτείται στρώμα 2,5 μέτρων φυτικής ύλης για τη δημιουργία άνθρακα στρώματος 30 εκατοστών.

Ανάλογα με το χρόνο που το καταπλακωμένο ξύλο έμεινε στο φλοιό της Γης σχηματίστηκαν οι διάφοροι τύποι γαιανθράκων, των οποίων η περιεκτικότητα σε άνθρακα ποικίλλει. Η κατάταξη των γαιανθράκων καθορίζεται από την θερμογόνη δύναμή τους σε συνδυασμό με τη χημική ανάλυση της οργανικής ύλης. Γαιάνθρακες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και χαμηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο και οξυγόνο χαρακτηρίζονται ως υψηλής ποιότητας ενώ με τη μείωση της περιεκτικότητας

σε άνθρακα μειώνεται και η ποιότητα των γαιανθράκων. Ανάλογα με τον βαθμό ενανθράκωσης οι γαιάνθρακες διακρίνονται σε τύρφη, λιγνίτες, υποπιπασσούχοι γαιάνθρακες, πισσούχοι γαιάνθρακες και ανθρακίτης. Οι κυριότερες μορφές γαιανθράκων, κατατασσόμενοι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, ως προς το σχηματισμό, είναι: γραφίτης, ανθρακίτης, λιθάνθρακας, λιγνίτης και τύρφη. Με την μετάβαση από την τύρφη στον ανθρακίτη αυξάνεται η θερμογόνος ικανότητα των ανράκων και βεβαίως η ποιότητά τους ως πηγή ενέργειας.

Σχεδόν κάθε χώρα στον πλανήτη διαθέτει αποθέματα ανθράκων αλλά μόνο σε 70 χώρες η εξόρυξη άνθρακα αποτελεί εμπορική δραστηριότητα. Λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά (2006) επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης, τα παγκόσμια αποθέματα άνθρακα επαρκούν για τα επόμενα 164 χρόνια. Σε αντιδιαστολή, τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου επαρκούν για τα επόμενα 41 και 67 χρόνια αντίστοιχα.

Προς το παρόν, ο γαιάνθρακας αποτελεί την πρώτιστη πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού παγκοσμίως (σύμφωνα με τα δεδομένα του WCI, του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Γαιάνθρακα). Πάνω από 32% της παραγωγής του ανά τον κόσμο αξιοποιείται για να καλύψει το 40% των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας και, επιπλέον, καλύπτει το 35% των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων.[18]

Στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση γαιανθράκων, η διαδικασία περιλαμβάνει: α) κονιοποίηση του γαιάνθρακα για αύξηση της επιφάνειάς του και συνεπώς βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ταχύτητας καύσης του, β) καύση με θερμό ρεύμα αέρα υψηλής θερμοκρασίας (περίπου 1500°C), γ) παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας από την παραγόμενη θερμική ενέργεια καύσης, και δ) λειτουργία γεννητριών παραγωγής ρεύματος με τη βοήθεια του παραγόμενου ατμού. Η καύση του άνθρακα αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, και άλλων αερίων ρύπων, που θεωρείται η βασικότερη αιτία πρόκλησης του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια των ανεξέλεγκτων κλιματολογικών αλλαγών σε παγκόσμιο επίπεδο, που έχουν ήδη γίνει αισθητές, με καταστροφικές συνέπειες τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ίδια τη ζωή.[16]

Οι ρύποι από την καύση του γαιάνθρακα προέρχονται από τις ανόργανες ή οργανικές προσμίξεις που υπάρχουν στο κοίτασμα, την ατελή καύση του άνθρακα και την οξειδωση συστατικών του αέρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών μέσα στους καυστήρες. Τα κυριότερα παραπροϊόντα και απόβλητα από την καύση του άνθρακα είναι:

α) οι αέριοι ρύποι, όπως τα οξείδια του άνθρακα (μονοξείδιο CO και διοξείδιο του άνθρακα CO₂), τα οξείδια του θείου (SO_x), και τα οξείδια του αζώτου (NO_x),

β) η τέφρα, που παραμένει στον καυστήρα και συνήθως αξιοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου ή απορρίπτεται στο περιβάλλον, και η τέφρα που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα (αιωρούμενα σωματίδια ή ιπτάμενη τέφρα ή fly ash), η οποία είναι εμπλουτισμένη με βαρέα και ραδιενεργά μέταλλα.

γ) οι οργανικές ενώσεις, όπως πολυκυκλικοί αρωματικο υδρογονάνθρακες, οι διοξίνες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια κ.α., ουσίες ιδιαίτερα τοξικές που παράγονται αναπόφευκτα κατά την καύση οποιασδήποτε οργανικής ύλης, όπως και στην περίπτωση καύσης σκουπιδιών στις χωματερές.

Τεκμηριωμένες επιστημονικές μελέτες παγκοσμίως έχουν δείξει ότι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση άνθρακα είναι

υπεύθυνα για χιλιάδες πρόωρους θανάτους ετησίως. Οι μοντέρνες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν ένα πλήθος τεχνολογιών για την μείωση των επιβλαβών ρύπων για το περιβάλλον και την υγεία, παρόλα αυτά οι τεχνολογίες αυτές είτε δεν είναι πιστοποιημένες μέσω πρότυπων ελέγχων με βάση τις ισχύουσες νομοθεσίες, είτε δεν εφαρμόζονται πλήρως καθώς αυξάνουν το κόστος λειτουργίας και επένδυσης των εργοστασίων.

Οι εκπομπές καυσαερίων σε τοπικό επίπεδο αντιμετωπίζονταν παλιότερα με την ανέγερση υψηλότερων καμινάδων, ώστε να διευκολύνεται η διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα μακριά από την περιοχή του εργοστασίου, όμως αυτό δεν μπορεί να αποτρέψει την πρόκληση φαινομένων όπως η όξινη βροχή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού οι εκπομπές αυτών των ρύπων είναι τεράστιας τάξης μεγέθους.[17]

1.2.2. Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο βρίσκεται στο υπέδαφος σε υγρή μορφή, μέσα σε κοιλότητες, σχηματίστηκε εκεί από ζωικούς και φυτικούς μικροοργανισμούς, κυρίως θαλάσσιους, οι οποίοι συγκεντρώθηκαν από τα θαλάσσια ρεύματα στο βάθος λεκανών, όπου και καταπλακώθηκαν λόγω επιχωματώσεων ή άλλων διαδικασιών. Εκεί, χωρίς την παρουσία αέρα, μετατράπηκαν σε πετρέλαιο κατά την διάρκεια χιλιάδων ετών. Η ενέργεια του πετρελαίου προέρχεται από την ενέργεια που είχαν συγκεντρώσει από τον ήλιο και την τροφή τους οι μικροοργανισμοί που το δημιούργησαν. [9]

Σήμερα αντλούμε το πετρέλαιο από τα υπόγεια κοιτάσματά του, ακόμα και αν αυτά βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Τα κύρια συστατικά του είναι αλκάνια (παραφίνες), κυκλοεξάνια (ναφθένια) και αρωματικοί υδρογονάνθρακες και σε μικρότερες ποσότητες οξυγονούχες, αζωτούχες και θειούχες ενώσεις. Το πετρέλαιο αποτελεί το σημαντικότερο ορυκτό για την παγκόσμια οικονομία, καθώς αποτελεί την κύρια πρωτογενή πηγή ενέργειας και την πρώτη ύλη από την οποία παράγεται ένας τεράστιος αριθμός προϊόντων (πλαστικά, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, φιλμ. μαγνητοταινίες, εκρηκτικά κλπ.) [16]

Το πετρέλαιο είναι ζωτικής σημασίας στις περισσότερες βιομηχανίες και από μόνο του είναι σπουδαίο για την διατήρηση του πολιτισμού και για αυτούς τους λόγους αποτελεί καίριο ζήτημα για πολλά κράτη. Το πετρέλαιο παίζει ρόλο σε μεγάλο ποσοστό στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, από 32% για την Εύρωπη και Ασία έως και 53% για την Μέση Ανατολή. Τον χρόνο σε όλο τον κόσμο υπολογίζεται πως η κατανάλωση πετρελαίου φτάνει τα 30 δισεκατομμύρια βαρέλια όπου οι κορυφαίοι καταναλωτές είναι τα αναπτυσσόμενα κράτη. Πράγματι το 24% από την ποσότητα πετρελαίου που καταναλώθηκε το 2004 ήταν των Η.Π.Α. και μόνο.

Λόγω των επιπτώσεων της χρήσης του πετρελαίου όπως η μόλυνση του περιβάλλοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξάντληση των φυσικών πόρων έχει αυξηθεί η προσοχή σε αυτά τα θέματα τα τελευταία χρόνια.

Το πετρέλαιο έχει αρνητικά επηρεάσει το περιβάλλον μέσω των διαφόρων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, μόλυνση των υδάτων, μόλυνση του εδάφους αλλά και του αέρα.

Πέρα από την μόλυνση στο περιβάλλον, έχει δημιουργηθεί και πρόβλημα λόγω της αυξανόμενης τάσης για χρήση του πετρελαίου όπου σύμφωνα με όλα τα στοιχεία, ο πλανήτης προσεγγίζει ταχύτατα το «σημείο αιχμής» της πετρελαϊκής παραγωγής, το σημείο στο οποίο θα επέλθει

«ανήκεστος συρρίκνωση» στα πηγάδια πετρελαίου της υψηλίου, εξαιτίας θεμελιωδών γεωλογικών αιτιών. Οι ετήσιες ανακαλύψεις πετρελαίου μειώνονται σταθερά τα τελευταία 40 χρόνια και σήμερα, για κάθε βαρέλι που ανακαλύπτουμε, καταλανώνουμε τρία.

Επιπλέον, φαίνεται ότι οι υπάρχοντες πόροι πετρελαίου δεν μπορούν να καλύψουν τις αυξανόμενες ανάγκες. Το πετρέλαιο θα συνεχίσει να είναι σημαντικός ενεργειακός πόρος τα επόμενα χρόνια, αλλά είναι προφανές ότι απαιτείται να αναπτύξουμε τεχνολογίες και ενεργειακούς πόρους που θα μας επιτρέψουν να κάνουμε την όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική χρήση του πετρελαίου.[10],[19]

1.2.3. Φυσικό Αέριο

Το Φυσικό Αέριο είναι ένα αέριο μίγμα υδρογονανθράκων. Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες και εξαιτίας των ιδιοτήτων του θεωρείται οικολογικό καύσιμο. Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα: έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή το λάδι, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα, μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Είναι καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας.

Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάσταση του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται με αρκετούς τρόπους, αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου, ως καύσιμο οχημάτων (οικολογικά οχήματα), οικιακή χρήση (μαγειρική, θέρμανση).

Ως προς την χρησιμότητα του φυσικού αερίου και στην βιομηχανία, τα χαρακτηριστικά του που ευνοούν την χρήση του είναι κυρίως τα εξής :

- Έχει μειωμένες, σε σχέση με άλλα καύσιμα, εκπομπές ρύπων. Έτσι η χρήση του συμβάλλει στο καθαρότερο περιβάλλον και στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος διαχείρισης καυσίμου και συντήρησης
- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση και οικονομία
- Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων
- Ευχέρεια χειρισμού και ελέγχου
- Αποκέντρωση θερμικών χρήσεων

1.3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανέκαθεν η χρησιμότητα της ενέργειας ήταν καίρια για την ανάπτυξη και λειτουργικότητα της κοινωνίας, όμως πλέον με την πάροδο του χρόνου και την σπάταλη χρήση των ορυκτών καυσίμων, μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα πως μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα είναι να έχουν όλοι πρόσβαση σε ασφαλής και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Καθώς τα φυτά αναπτύσσονται αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια, κατά την καύση των φυτών απελευθερώνεται αυτή η ενέργεια υπο την μορφή θερμότητας. Αυτό είναι ένα παράδειγμα έμμεσης χρήσης της ηλιακής ενέργειας.

Η μορφή που μας ενδιαφέρει είναι η άμεση μετατροπή των ηλιακών ακτίνων σε μία εύχρηστη μορφή ενέργειας, τον ηλεκτρισμό. Αυτό κατορθώνεται με την χρήση των ηλιακών συλλεκτών.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε την ηλιακή ενέργεια σε εύχρηστη μορφή. Ο πρώτος τρόπος είναι γνωστός ως το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, όπου περιλαμβάνει την χρήση των φωτοβολταϊκών κυττάρων για την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες. Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τυπικού μεγέθους 1,5kWp έως 20kW, μπορούν να εγκατασταθούν σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι:

- Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.

Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτιρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας απευθείας για θέρμανση νερού ή αέρα. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες. Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. [21]

1.3.2. Ανεμογεννήτριες

Ο αέρας χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή ενέργειας από την αρχαιότητα. Ωστόσο η μεγάλη πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 70 και το αυξανόμενο οικολογικό ενδιαφέρον που ακολούθησε, έφεραν τη χρήση της αιολικής ενέργειας πάλι στο προσκήνιο. Σημαντικό μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται στις αναπτυσσόμενες χώρες, προέρχεται από τον αέρα. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες βασίζονται στην αρχή της άνωσης και όχι στην αρχή της αντίστασης. Ενώ δηλαδή παλιότερα ο άνεμος έπρεπε να υπερνικήσει την αντίσταση που προέβαλλε μια φτερωτή ώστε να δημιουργήσει κίνηση, τώρα πλέον ο άνεμος δημιουργεί άνωση στην φτερωτή, ακριβώς όπως γίνεται στα αεροπλάνα και η φτερωτή τίθεται σε κυκλική τροχιά. Με την αρχή της αντίστασης μπορεί να υπάρξει βαθμός απόδοσης μέχρι 15 %, ενώ με την αρχή της άνωσης ο βαθμός απόδοσης φθάνει μέχρι 60 %.

Μπορούμε να διαχωρίσουμε 4 φάσεις λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Αν ο άνεμος είναι

πολύ ασθενής δεν μπορεί η ενέργεια του να υπερνικήσει τις ροπές αδράνειας της ανεμογεννήτριας και δεν υπάρχει κίνηση. Μετά από μια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου – περίπου 3 μέτρα το δευτερόλεπτο – αρχίζει να λειτουργεί η εγκατάσταση. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνει η ισχύς με την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του ανέμου, δηλ. με ένα διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου οκταπλασιάζεται η ισχύς της γεννήτριας. Αν συνεχίσει να αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου επιτυγχάνεται κάποια στιγμή η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας. Σε περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας πρέπει να υπάρξει ρύθμιση της υπερβάλλουσας ισχύος. Αν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί τα 26 μέτρα το δευτερόλεπτο, η γεννήτρια αποσυνδέεται και τα πτερύγια αλλάζουν θέση.

Υπάρχουν πολλοί τύποι ανεμογεννητριών, ωστόσο έχει πλέον καθιερωθεί ο τύπος με τα 3 πτερύγια, διότι αφ ενός ισορροπούν καλύτερα οι μηχανικές τάσεις, αφ ετέρου προκαλείται μικρότερος θόρυβος. Οι σύγχρονοι ρότορες περιστρέφονται με ταχύτητα 10 έως 30 στροφές το λεπτό. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από πολυμερή υλικά και έχουν μήκος έως 40 μέτρα. Η νέα γενιά πτερυγίων θα έχει μήκος έως και 50 μέτρα. Η επιφάνεια που καλύπτεται από την περιστροφή είναι περίπου όσο ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο. Ο πύργος μιας μεγάλης εγκατάστασης έχει ύψος άνω των 90 μέτρων, πράγμα που σημαίνει, ότι μαζί με τα πτερύγια η εγκατάσταση ξεπερνά τα 130 μέτρα. Όσο πιο ψηλός είναι ο πύργος τόσο λιγότερο επηρεάζουν οι στροβιλισμοί, εξαιτίας της ανωμαλίας του εδάφους, τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και τόσο υψηλότερες είναι οι μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Τα τελευταία 20 χρόνια υπάρχει πολλή μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη που στρέφεται στην κατασκευή όλο και μεγαλύτερων ανεμογεννητριών. Αυτό στοχεύει στη βέλτιστη αξιοποίηση των περιοχών με καλές συνθήκες ταχύτητας του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες που διατίθενται πλέον στην αγορά έχουν ισχύ 3 MW, ενώ αναπτύσσονται οι ανεμογεννήτριες της επόμενης γενιάς με ισχύ 4 έως 5 MW. Η έρευνα στοχεύει επίσης στην ανάπτυξη νέων υλικών, στη βελτίωση της αεροδυναμικής των πτερυγίων ώστε να επιτυγχάνονται καλύτεροι βαθμοί απόδοσης και στη μείωση των θορύβων για να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον.

Ωστόσο η εγκατάσταση ανεμογεννητριών προκαλεί πολλές φορές και αντιδράσεις, κυρίως λόγω των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρουν στην ισορροπία του περιβάλλοντος. Ήδη σε πολλά ελληνικά νησιά οι κάτοικοι αντιδρούν φοβούμενοι μήπως οι ανεμογεννήτριες χαλάσουν την τουριστική εικόνα του νησιού. Σε αυτήν την περίπτωση έρχεται να προσφέρει λύση μια νέα τεχνολογία που αναπτύσσεται στη Βόρεια Ευρώπη και ιδιαίτερα στη Σκανδιναβία και στη Γερμανία. Είναι τα ονομαζόμενα «Αιολικά Πάρκα Offshore», τα οποία κατασκευάζονται μέσα στη θάλασσα, σε περιοχές με ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες ανέμου. Το Αιγαίο Πέλαγος προσφέρεται ιδιαίτερα για τέτοια χρήση και υπολογίζεται ότι ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο μπορεί να παράγει ετησίως μέχρι 40% περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα από ότι ένα ηπειρωτικό.

Οι κυριότερες αντιδράσεις από τους περιβαντολόγους είναι ο θόρυβος που προκαλούν, η αλλοίωση της φυσικής ομορφιάς και οι οχλήσεις που προκαλούν στον κόσμο των ζώων και ιδιαίτερα των πτηνών. Ωστόσο η τεχνολογία έχει καταφέρει να μειώσει το θόρυβο δραστικά. Σε απόσταση 50 μέτρων από μια ανεμογεννήτρια το επίπεδο θορύβου είναι στα 55 dB, που αντιστοιχεί στο επίπεδο ήχου που προκαλεί ένα ραδιόφωνο που παίζει με φυσιολογική ένταση μέσα σε ένα δωμάτιο. Σε απόσταση 500 μέτρων, που είναι η ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση από κατοικημένες περιοχές, ο θόρυβος

της ανεμογεννήτριας δεν γίνεται καν αντιληπτός. Από την άλλη μεριά οι περιβαλλοντολόγοι θα πρέπει να λάβουν υπ' όψη τους, ότι μια ανεμογεννήτρια ισχύος 1500 kW που λειτουργεί επί 20 χρόνια απαλλάσσει την ατμόσφαιρα από 64000 τόνους CO₂ που θα εκλυόταν κατά την καύση λιγνίτη προκειμένου να παραχθεί ισοδύναμη ενέργεια. Με μια ανεμογεννήτρια 1500 kW αποφεύγεται η χρήση 80000 τόνων λιγνίτη. Αν αυτήν την ποσότητα τη συσσωρεύαμε θα δημιουργούσαμε ένα βουνό που η κορυφή του θα είχε περίπου το ύψος της ανεμογεννήτριας.[22]

1.3.3. Βιομάζα

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι κύριες εφαρμογές με καύσιμο βιομάζα είναι, η θέρμανση θερμοκηπίων : σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες : σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου. Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου : Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων. Τηλεθέρμανση : είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια. Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ): Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (πχ θέρμανση κτιρίων). Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών. Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι το βιοντήζελ, μεθυλεστέρας ο οποίος παράγεται κυρίως από

ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες και η βιοαιθανόλη η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες είτε τέλος να μετατραπεί σε ΕΤΒΕ (πρόσθετο βενζίνης).

Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτόνομία της χώρας.[21]

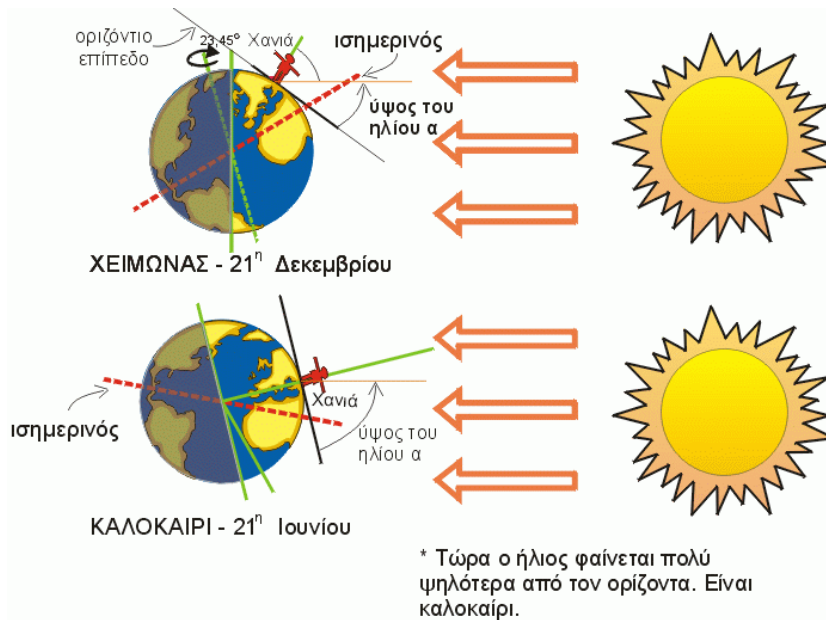
2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι μία μορφή ενέργειας άμεσα εκμεταλέυσημη όπου με την σωστή χρησιμοποίησή της και την ανάπτυξη της τεχνολογίας,πάνω σε αυτόν τον τομέα, μπορούμε να έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα. Πιο αναλυτικά για την ηλιακή ενέργεια, στο παρακάτω κεφάλαιο.

2.1. ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ

Ο ήλιος είναι η κύρια μορφή ενέργειας στην γή παρέχοντας μεγάλα ποσά ενέργειας προς εκμετάλευση. Μέρος αυτής της ενέργειας από τον ήλιο, που κατευθύνεται στην γή, είναι υπο μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπου το 1/3 αυτής ανακλάται απ'ευθείας στο διάστημα καθώς διαβαίνει από τα αραιότερα στα πυκνότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, το υπόλοιπο απορροφάται και επανακτινοβολείται στο διάστημα υπο μορφή συνεχούς φάσματος υπέρυθρης ακτινοβολίας.

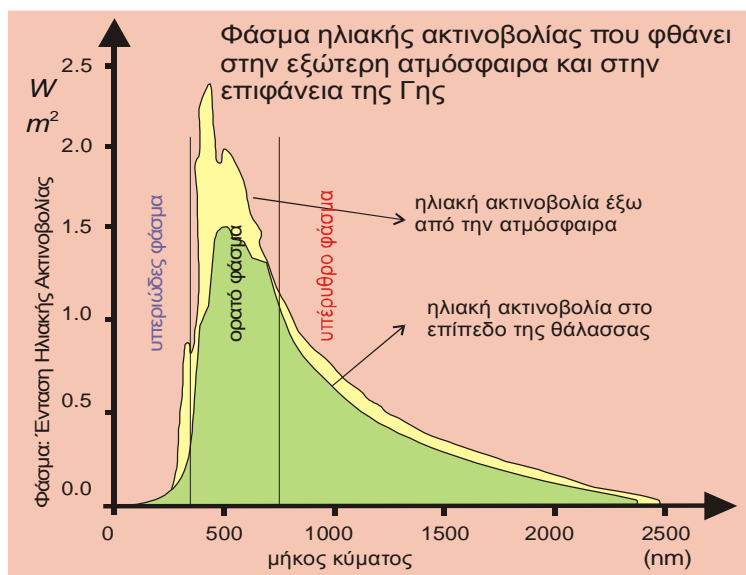
Στην πράξη η Γή επιστρέφει στο διάστημα όση ενέργεια λαμβάνει με αποτέλεσμα να διατηρείται ένα ενεργειακό ισοζύγιο που να διασφαλίζει την διατήρηση της ζωής σε αυτήν. Η ακτινοβολία που φθάνει στην Γή μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της Γης περί τον ήλιο και παίρνει τιμές μεταξύ 1310 και 1399 W/m². Το καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν περίπου κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 και ουσιαστικά η θερμοκρασία είναι υψηλότερη έστω και αν η απόσταση Γης-Ηλίου το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά τον χειμώνα.



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση Γης-Ηλίου και της προσπίπτουσας Ηλιακής ακτινοβολίας επί της Γης κατά το Χειμώνα και το Καλοκαίρι.

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με την ταχύτητα του φωτός, και μεταφέρει ενέργεια με τα κύματα (ή φωτόνια) της. Με την φασματοσκοπική ανάλυση της ακτινοβολίας, εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σε αυτή. Το σύνολο αυτών των χρωμάτων αποτελεί το ηλιακό φάσμα, και σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μια συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος υπάρχει το κόκκινο χρώμα και στο άλλο άκρο το ιώδες χρώμα. Μεταξύ του κόκκινου και του ιώδους χρώματος περιλαμβάνεται το ορατό ηλιακό φάσμα που αποτελείται από όλα τα γνωστά χρώματα και περιλαμβάνει 49% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας, Το 9% της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στο υπεριώδες φάσμα και το υπόλοιπο 42% στο υπέρυθρο.[13] Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτείνεται από τα 200 έως τα 3000nm. Η ηλιακή ακτινοβολία που μπορεί να αξιοποιηθεί για θερμικές εφαρμογές ανήκει στην περιοχή 380nm – 3000nm και για PV-στοιχεία περιορίζεται στην περιοχή των 380nm-1200nm.

Το φως του ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της γής αποτελείται κυρίως από δυο συνιστώσες, συγκεκριμένα το άμεσο φως και το έμμεσο ή διάχυτο φως, το οποίο είναι το φως που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα.[1]



Σχήμα 2.2 : Φάσμα της Ηλιακής Ακτινοβολίας που φθάνει στην εξώσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης.

2.2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Το ηλιακό φως αποκτά τελικά μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει .

Ενδεικτική, άλλωστε, της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία είναι η εξάρτηση της έντασής της από το υψόμετρο της τοποθεσίας της γης, που δέχεται την ακτινοβολία. Έτσι, έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει μέχρι περίπου $900 - 1000 \text{ W/m}^2$ η τιμή της , αυξάνεται κατά περίπου 7 W/m^2 για κάθε 100 m ύψος της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες. Επίσης από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης, που είναι συνήθως λιγότερο από το 60% είναι άμεση, σε μορφή δέσμης ακτινών, και η υπόλοιπη είναι διάχυτη, διότι έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα σε αυτήν.[13]

Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1700 kWh ($1\text{BBL}=1700\text{kWh}=6\text{GJ}$) σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηνιαία βάση στο οριζόντιο επίπεδο της θάλασσας δίνονται από πίνακα ανά ζώνη και μήνα, όπου σε κάθε ζώνη περιλαμβάνονται διάφορες περιοχές της χώρας χωρισμένες ανάλογα βάση της μηνιαίας ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στις περιοχές αυτές και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Τα παραπάνω δεδομένα παρατίθενται στους πίνακες 2.1 και 2.2 [1]

Πίνακας 2.1 : κλιματολογικές ζώνες

Ζώνη 1	Ζώνη 2	Ζώνη 3	Ζώνη 4	Ζώνη 5	Ζώνη 6
Ηράκλειο	Αθήνα	Αργοστόλι	Άρτα	Θεσ/νίκη	Ιωάννινα
Ρόδος	Καλαμάτα	Κόρινθος	Κέρκυρα	Καβάλα	Κομοτηνή
Σητεία	Νάξος	Μυτιλήνη	Λαμία	Κατερίνη	Σέρρες
Χανιά	Σάμος	Πάτρα	Λήμνος	Λάρισα	Φλώρινα
Ιεράπετρα	Σύρος	Χίος	Τρίπολη	Τρίκαλα	Ξάνθη

Πίνακας 2.2 : Μέσες μηνιαίες τιμές της Ηλιακής Ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο της θάλασσας ανα ζώνη σε Mj/m^2

ΖΩΝΗ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο	ΣΥΝΟΛΟ
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220	507	6080
2	230	274	418	493	691	752	781	713	736	382	270	198	478	5738
3	220	259	400	493	648	754	781	713	526	367	241	187	468	5616
4	194	234	371	493	644	724	781	695	504	349	220	173	449	5384
5	169	223	360	493	644	680	727	670	486	328	220	162	430	5162
6	169	216	349	468	612	666	706	641	464	313	202	162	414	4968

2.2.1. Χρήσιμα μεγέθη στις εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας

Άμεση ή απευθείας ηλιακή ακτινοβολία H_b ονομάζουμε την ακτινοβολία που λαμβάνουμε από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση, όπου μετράται σε $Joule/m^2$. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία H_d είναι η ακτινοβολία που δημιουργείται από την σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας από σωματίδια της ατμόσφαιρας ή σύννεφα, μετράται σε $Joule/m^2$. Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία H_r προέρχεται από ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από διάφορα γειτονικά αντικείμενα ή από το έδαφος και τέλος ολική ηλιακή ακτινοβολία H είναι το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια μετράται σε $Joule/m^2$ όπου έχει πινακοποιηθεί ανα μήνα και για κάθε μία από τις έξι ζώνες που χωρίζεται η χώρα όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2.

Για τους υπολογισμούς που έχουν γίνει έχει προσδιοριστεί η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο 40° . Για να υπολογιστεί ορίζεται ο όρος R_b της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο με κλίση β , προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Ο λόγος R_b δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} = \frac{I_{bd} \cos q}{I_{bd} \cos q_z} = \frac{\cos q}{\cos q_z} \quad (2.1)$$

Για τους ηλιακούς συλλέκτες που είναι προσανατολισμένοι στον Νότο το R_b ορίζεται από την σχέση

$$R_b = \frac{\cos(j - b) \cdot \cos d \cdot \cos w + \sin(j - b) \cdot \sin d}{\cos j \cdot \cos d \cdot \cos w + \sin d \cdot \sin j} \quad (2.2)$$

Οι ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν τόσο την άμεση όσο και την έμμεση (διάχυτη) ηλιακή ακτινοβολία, για τον λόγο αυτό ορίζεται ο συντελεστής R που δίνει τον λόγο της ολικής έντασης στο κεκλιμένο επίπεδο I_T προς αυτήν στο οριζόντιο.

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{I}_T}{\mathbf{I}} \quad (2.3)$$

Οι παραπάνω τύποι αφορούν υπολογισμούς για στιγμιαία ακτινοβολία ή για ολοκλήρωση των τιμών αυτών ανά ώρα, στην παρούσα μελέτη οι υπολογισμοί αναφέρονται ανά μήνα, όπου η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία δίνεται από τον πίνακα 2 και και $\bar{\mathbf{R}}$ ο συντελεστής για την μετατροπή της στο κεκλιμένο επίπεδο

$$\bar{\mathbf{R}} = \frac{\bar{\mathbf{H}}_T}{\bar{\mathbf{H}}} \quad (2.4)$$

Ο συντελεστής $\bar{\mathbf{R}}$ δίνεται από πίνακες που έχουν κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με την ζώνη που βρίσκεται κάθε περιοχή και τον μήνα. Παρακάτω βλέπουμε τις τιμές για την ζώνη 3 που βρίσκεται η Πάτρα, με κλίση 40° που έχει τοποθετηθεί ο συλλέκτης για την μελέτη. [1], [3]

3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία ξεκίνησε οργανωμένα εδώ και 20 χρόνια κυρίως στις Η.Π.Α. και την Ευρώπη κυρίως σε εφαρμογές στην διαστημική τεχνολογία, με το πέρασμα των χρόνων όμως και το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε σήμερα εξελίσσονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχοντας εφαρμογή πλέον και στα σπίτια μας.

Ανάλογα με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

A) Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα :

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.

B) Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα :

Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.

Γ) Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα :

Αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μια γεννήτρια πετρελαίου, ή άλλη μορφή ΑΠΕ όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες ή όπως ένα ΦΒ/Θερμικό συλλέκτη.

Τα Φ/Β συστήματα απευθύνονται σε περιοχές εφαρμογών , όπου το σχετικά υψηλό κόστος τους δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως χαρακτηρίζονται από:

- χαμηλές ενεργειακές ανάγκες
- έλλειψη εναλλακτικών τρόπων παροχής ενέργειας ή , όπου υπάρχουν, αυτοί είναι πολύ ακριβοί (π.χ. σύνδεση με ένα απομακρυσμένο δίκτυο)
- απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας ή και χαμηλές ανάγκες συντήρησης

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

α) Καταναλωτικά προϊόντα (0.001 - 100Wp)

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ.,

για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

β) Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200KWp)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για :

- αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
- φωτισμό (δρόμων , πάρκων , αεροδρομίων)
- συστήματα τηλεπικοινωνιών , τηλεμετρήσεων και συναγερμού
- συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας)
- ψύξη (αγροτικών προϊόντων , φαρμάκων κ.λπ.)

γ) Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (200 KWp - αρκετά MWp)

Στην κατηγορία αυτή, που σύμφωνα με τις συμβατικές θεωρήσεις προς το παρόν δεν αξιολογείται σαν οικονομικά βιώσιμη, διακρίνονται δύο κατηγορίες συστημάτων.

- Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kWp που τροφοδοτούν κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο
- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο

Για τα Φ/Β συστήματα που αναρτώνται σε κτίρια (σε προσόψεις, οροφές , κλπ.), σε σύνδεση με το δίκτυο, τελευταία έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον Τα οφέλη που προκύπτουν είναι:

- συγχρονισμός Ψυκτικών φορτίων κτιρίων με μέγιστη παραγόμενη ισχύ από Φ/Β
- αποφυγή χρήσης γης
- αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

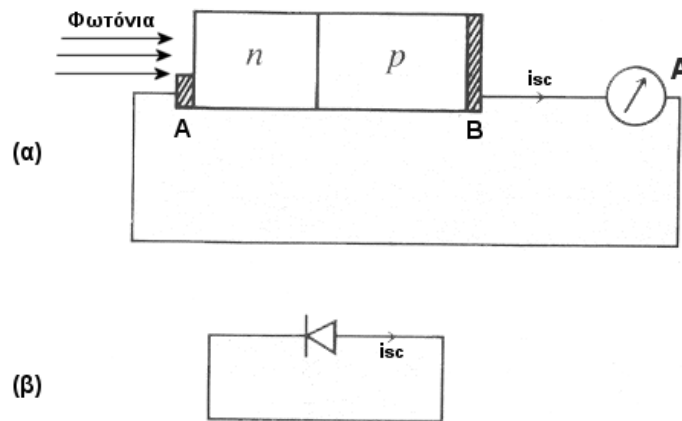
Επίσης, γίνεται προσπάθεια για χρήση των Φ/Β και ως δομικών στοιχείων στα κτίρια, αυξάνοντας έτσι τα οικονομικά οφέλη, εκτός από αυτά που ήδη αναφέρθηκαν.

3.1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ PV-ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Βασικό ημιαγώγιμο υλικό για την κατασκευή των PV-στοιχείων είναι το πυρίτιο (Si) λόγω της αφθονίας του στην φύση, είναι εύκολο να μορφοποιηθεί και οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι τους 125°C.

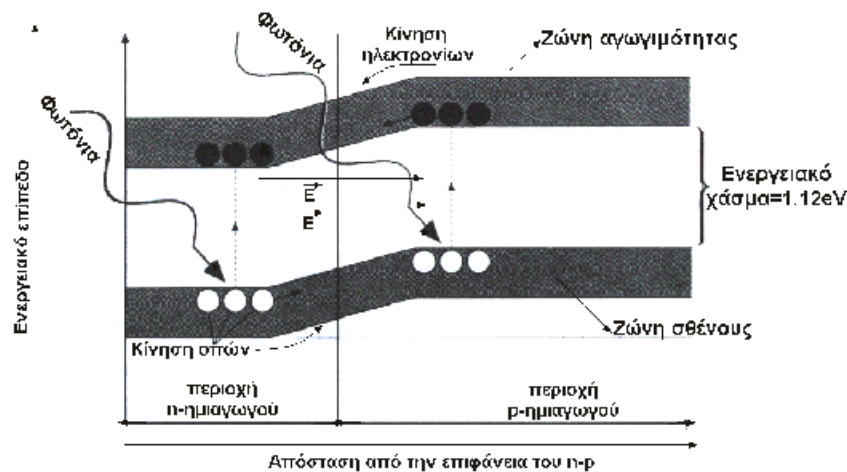
Ένα PV-στοιχείο δηλαδή μία φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελείται από δύο λεπτά στρώματα διαφορετικών ημιαγωγών τον n(negative)-type, για

παραδειγμα από Si εμπλουτισμένο με άτομα P και τον p(positive)-type, από Si εμπλουτισμένο με άτομα B όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.



Σχήμα 3.1 : (α) Σχηματικό διάγραμμα μιας επαφής ημιαγωγών n-p
(β) Η επαφή n-p ως ισοδύναμη με μία δίοδο

Όταν ένα φωτόνιο έχοντας την απαιτούμενη ενέργεια, συγκρουσθεί με το άτομο του πυριτίου ενεργοποιείται και ελευθερώνεται ένα e^- της εξωτερικής στοιβάδας. Η ενέργεια που πρέπει να έχει ένα φωτόνιο να είναι ίση και μεγαλύτερη της διαφοράς ενέργειας E_g μεταξύ της ζώνης σθένους και αγωγιμότητας, έτσι ώστε να αλληλεπιδράσει με e^- ζώνης σθένους και να το αναβαθμίσει ενεργειακά σε ζώνη αγωγιμότητας, το e^- αφήνει πίσω του μία οπή. Το e^- στην ζώνη αγωγιμότητας κινείται ελεύθερα και έτσι το σύστημα δύναται να άγει ηλεκτρισμό, όπως δείχνει το Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2 : Ενεργειακό διάγραμμα των δύο ημιαγωγών p και n

Πιο αναλυτικά, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στον ημιαγωγό p κινούνται προς την περιοχή n ενώ οι οπές από τον n κινούνται προς τον p. Λόγω των διαφορών στην συγκέντρωση e^- και οπών στις δύο περιοχές p και n, επικρατεί στην επαφή n-p το φαινόμενο της διάχυσης όπου στον ημιαγωγό n έχουμε περίσσια e^- και διαχέονται προς τον p όπου εκεί αυτά είναι φορείς μειωνότητας. Τότε η κίνηση αυτή, δημιουργεί στον ημιαγωγό n μια περιοχή κοντά στην διεπαφή n-p με αυξημένο θετικό φορτίο. Αντιστρόφως οπές

(φορείς πλειονότητας) διαχέονται από τον ημιαγωγό p στον n όπου εκεί είναι φορείς μειονότητας συνέπεια αυτού να δημιουργηθεί μια περιοχή στο τμήμα του p κοντά στην διεπαφή n-p με αρνητικό φορτίο.

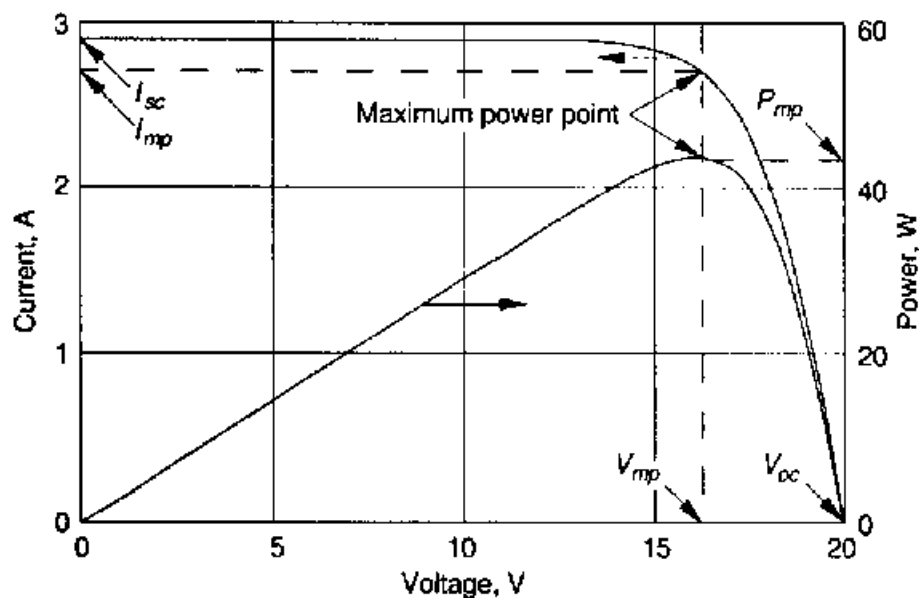
Έτσι το σύστημα n-p συμπεριφέρεται ως δίοδος καθώς επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων από p στον n ημιαγωγό. Όταν το σύστημα πολωθεί θετικά δηλαδή εφαρμοστεί θετικό δυναμικό στον ημιαγωγό p και αρνητικό στο n, έχουμε την εμφάνιση ρεύματος.

Η αλληλεπίδραση των φωτονίων με τα άτομα του ημιαγωγού δημιουργεί ζεύγη e^- και οπών. Η διέλευση των e^- από τον p στον n δια της διεπαφής n-p και των οπών από τον ημιαγωγό n προς τον p δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα αυτό είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Οι n-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου) έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων. Οι p-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο) οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμμα ελευθέρων ηλεκτρονίων.[2]

3.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ PV

Την ηλεκτρική συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου την παρατηρούμε από την χαρακτηριστική καμπύλη i-V και την καμπύλη P-V.



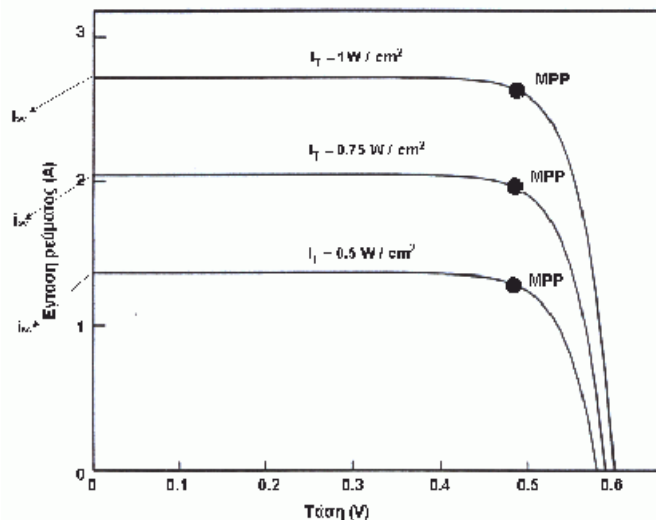
Σχήμα 3.3 : Διάγραμμα της καμπύλης (i,V) και (P,V)

Έστω ένα PV-στοιχείο συνδεδεμένο με μία αντίσταση R_L ,

- Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος, το i παίρνει τη μέγιστη του τιμή $i = i_{sc}$, όπως δείχνει το σχήμα 3.3.
- Όταν η αντίσταση R_L είναι πολύ μεγάλη-άπειρη ή απλά όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό τότε $i=0$ ενώ το $V=V_{oc}$

- Από το παραπάνω διάγραμμα, μπορούμε να πάρουμε το γινόμενο ($i \times V$), που είναι η ισχύς που αποδίδει το PV-στοιχείο στο φορτίο R_L . Όπου η μέγιστη τιμή της P είναι το γινόμενο $I_{mpp} \times V_{mpp} = P_{max}$.
- Συντελεστή πλήρωσης FF (fill factor) του PV-στοιχείου ορίζουμε τον λόγο της μέγιστης ισχύος P_{max} προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης επί την τάση ανοικτού κυκλώματος, $I_{sc} \cdot V_{oc}$.
- Η απόδοση, η , ισούται με: $\eta = \frac{P_{MPP}}{A_p \times I_T}$, όπου $I_T = 1000 \text{ W/m}^2$

Στην χαρακτηριστική καμπύλη $i-V$ ενός PV για διάφορες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας I_T παρατηρούμε κάποιες αλλαγές όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4 όπου η τιμή της έντασης του ρεύματος I ελαττώνεται, το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) κινείται ελαφρά προς τα αριστερά και το V_{oc} ελαττώνεται ελάχιστα.[2]



Σχήμα 3.4 : Οικογένεια χαρακτηριστικών ενός PV-στοιχείου για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας στο PV-πλαίσιο έντασης της ακτινοβολίας, I_T .

3.3. Τύποι PV

Τα PV-στοιχεία Si διακρίνονται σε αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου Si (c-Si), του πολυκρυσταλλικού πυριτίου Si (p-Si), αυτά του άμορφου πυριτίου Si (a-Si) (thin film) και τέλος τα υβριδικά.

Πιο αναλυτικά, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν πάχος περίπου 0.3 χιλιοστά και η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% ενώ σε εργαστήρια έως και 24,7%. Πλεονέκτημα τους είναι η καλύτερη σχέση απόδοσης/επιφάνειας που έχουν σε σχέση με αυτά του πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά έχουν υψηλότερο κόστος. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, επίσης έχουν πάχος 0,3 χιλιοστά περίπου, όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοσή τους, οπτικά οι

πολυκρυσταλλικές περιοχές μπορούν αν παρατηρηθούν. Η απόδοση τους στο εμπόριο κυμαίνεται από 13-15% ενώ σε εργαστήρια έως και 20%. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

Τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου (thin film), ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός *άμορφο φωτοβολταϊκό* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 6-8% ενώ σε εργαστήρια έως και 14% . Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία. Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκα στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια.

Μία άλλη κατηγορία είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, όπου αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Το PV-στοιχείο αυτού του τύπου αποτελείται από λεπτό μονοκρύσταλλο Si που περιβάλλεται και από τις δυο του πλευρές από εξαιρετικά λεπτό στρώμα άμορφου, α-Si. Το πάχος του PV- στοιχείου είναι περίπου 150- 250 μm. Η τεχνική τους ονομάζεται H.I.T. (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Η δομή αυτή ελαχιστοποιεί τις ενεργειακές απώλειες και εμφανίζει αποδοση 20.0%. Λόγω μάλιστα και των χαμηλών θερμοκρασιακών διεργασιών που υποβάλλονται τα στοιχεία για την κατασκευή του οι θερμικές τάσεις ελαττώνονται. Η τεχνική αυτή δεν απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες, <200°C, και συνήθως μειώνει και την θερμική καταπόνηση κατά την ανάπτυξη του PV-στοιχείου, μειώνοντας ακόμα περισσότερο τις απώλειες.[23]

3.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ PV ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου που επιδρά αρνητικά στην απόδοση του.

- Η τιμή του συντελεστή απορρόφησης μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Ο συντελεστής απορρόφησης μας δείχνει την ευκολία με την οποία πραγματοποιείτε η απορρόφηση των φωτονίων από ημιαγωγίμο υλικό κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

- Η απόσταση μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p – n.

- Η μέση διάρκεια των φορέων μειονότητας στον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη.

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά σημαντικά στην απόδοση της ηλιακής κυψέλης.

Πιο αναλυτικά για την εξάρτηση της τάσης από την θερμοκρασία, έχουμε τους παρακάτω τύπους.

Ως μέγιστη απόδοση PV – κυψελίδας ή στοιχείου, η_{mp} , ορίζουμε το πηλίκο της μέγιστης ισχύος (P_{max}), που αποδίδει, προς την προσπίπτουσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επί την επιφάνεια A_c του PV-στοιχείου:

$$\eta_{mp} = \frac{P_{max}}{A_c \times I_T} = \frac{i_m \times V_m}{A_c \times I_T} = \frac{i_{sc} \times V_{OC} \times FF}{A_c \times I_T} \times 100\% \quad (3.1)$$

όπου η εξάρτηση της απόδοσης από την θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί με τον παρακάτω τύπο

$$\eta_{mp} = \eta_{mp,ref} + m_{P,mp} (T_c - T_{ref}) \text{ με } T_{ref} = 25^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

Όπου,

$$m_{P,mp} = \eta_{mp,ref} * \frac{m_{V_{oc}}}{V_{mp}} \quad (3.3)$$

$$m_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{dT} \quad (3.4)$$

Όπου οι σχέσεις 3.3 και 3.4 μας δείχνουν το ποσοστό της μείωσης της τάσης κατά την αύξηση της θερμοκρασίας. Κάθε φωτοβολταϊκό έχει και μία δική του τιμή από τον κατασκευαστή. Στην παρούσα μελέτη για το φωτοβολταϊκό που χρησιμοποιήσα είναι -0,33%/K

4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ-ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ PV-T

Ως φωτοβολταϊκο-θερμικό πλαίσιο ονομάζουμε τον συνδιασμό ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με έναν ηλιακό συλλέκτη. Με αυτόν τον τρόπο συνδιάζεται η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας έχοντας το πλεονέκτημα με την αύξηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του PV-πλαισίου και επιβαρύνει την απόδοσή του, να απορροφάται από τον ηλιακό συλλέκτη και συγχρόνως παραγωγή ζεστού νερού.

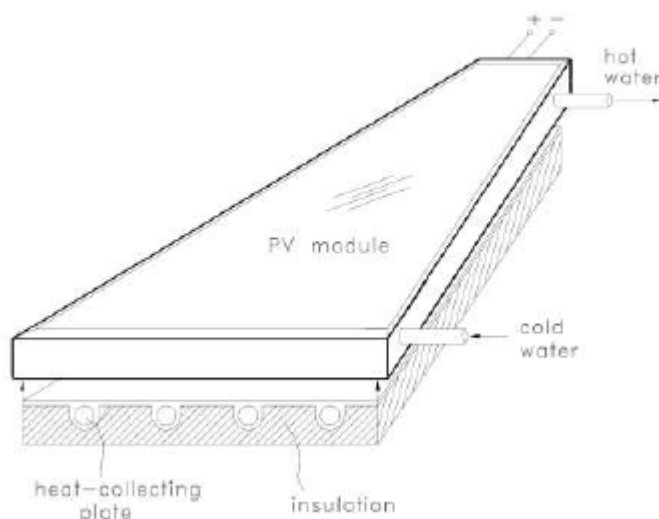
4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ PV-T

Τις τελευταίες δεκαετίες πολλές θεωρητικές και πειραματικές μελέτες έχουν δημοσιευτεί στον επιστημονικό τύπο. Τα ΦΒ/Θ συστήματα διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο ψύξης, δηλαδή ανάλογα με το ρευστό απολαβής θερμότητας νερό ή αέρας. Όπως αναφέρθηκε, το ρευστό απολαβής της θερμότητας δεν χρησιμοποιείται μόνο για την ψύξη του ΦΒ αλλά και για άλλες πρακτικές εφαρμογές όπως την κάλυψη ορισμένων θερμικών αναγκών των κτιρίων αυξάνοντας έτσι την συνολική τους ενεργειακή απόδοση.

Τα ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά (φβ/θ) συστήματα, τα οποία αναπτύσσονται τελευταία και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε επιδεικτικές εφαρμογές. Τα συνήθη υβριδικά φβ/θ συστήματα αποτελούνται από φβ πλαίσια με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας από το φβ, όπου ένα κυκλοφορούν ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας αυτής του φβ θερμαίνεται ψύχοντάς το. Η χρήση του νερού ως ρευστού απολαβής της θερμότητας είναι αποδοτική όλο το έτος, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Αυτές οι υβριδικές διατάξεις μπορούν να αξιοποιηθούν για την θέρμανση του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι 40ο C), ώστε να επιτυγχάνεται παράλληλα και η διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας στα φβ πλαίσια. Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία αέρα απαιτεί απλούστερη και φθηνότερη διάταξη, αλλά η ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο αποδοτική λόγω της μικρότερης πυκνότητας του αέρα.

Με κριτήριο την παραγωγή ηλεκτρισμού η παραγωγή ενέργειας που αποδίδεται ανά μονάδα επιφάνειας είναι πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση της ΦΒ/Θ συσκευής από ότι στην περίπτωση των δύο ξεχωριστών συσκευών.[8]

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να συνδιαστούν οι διάφοροι τύποι PV-πλαίσιου με τους ηλιακούς συλλέκτες. Κρυσταλικού πυριτίου ή άμορφου (thin-film) με τους συλλέκτες νερό ή αέρα. Μέχρι ώρας οι μελέτες που έχουν γίνει αφορούν κρυσταλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με μέσο απαγωγής θερμότητας το νερό ή τον αέρα [7]



Σχήμα : 4.1 Τομή ενός Φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου

Σύμφωνα με δημοσίευμα του καθ. Ι.Τριπαναγνωστόπουλου, τα συστήματα αυτά μπορούν να επιτύχουν βελτίωση της απόδοσης των ΦΒ κατά 10-20% και παράλληλα θέρμανση ρευστών με απόδοση που μπορεί να φτάσει έως και 50%. Τα υβριδικά ΦΒ/Θ είναι μία νέα τεχνολογία κατάλληλη για αποτελεσματική αξιοποίηση των περιορισμένων συχνά διαθέσιμων εξωτερικών επιφανειών των κτιρίων, στην προοπτική της ευρείας εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια. [24]

4.2 ΤΥΠΟΙ PV-T

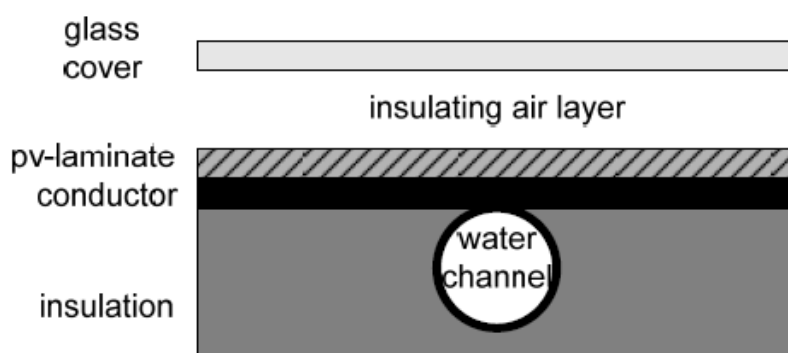
Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι νέοι τύποι συσκευών θέρμανσης νερού και αέρα, συσκευές φωτοβολταϊκών /θερμικών συλλεκτών, συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες και άλλες διατάξεις, με προοπτική την επίλυση λειτουργικών, οικονομικών και αισθητικών προβλημάτων. Η έρευνα αυτή αποτελεί συμβολή στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα, η οποία είναι πλούσια σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η ευρύτερη αξιοποίησή τους θα δώσει ενεργειακή επάρκεια και ανεξαρτησία ενώ παράλληλα θα βοηθήσει και στην ανάπτυξη του παραγωγικού τομέα με αύξηση νέων θέσεων εργασίας καθώς το οικονομικό όφελος από την μείωση εισαγωγής ορυκτών καυσίμων θα μπορούσε να επενδύεται στην ανάπτυξη και εφαρμογή των νέων εναλλακτικών και περιβαλλοντικά συμβατών ανανεώσιμων ενεργειακών τεχνολογιών.

Για την επίτευξη της χαμηλής θερμοκρασίας στα PV-πλαίσια ως μέσο απαγωγής της θερμότητας χρησιμοποιείται το νερό ή ο αέρας όπως προαναφέρθηκε. Τα περισσότερα υβριδικά PV-T πλαίσια που έχουν αναπτυχθεί είναι απλού τύπου, δηλαδή επίπεδης μορφής, όπως είναι οι επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες ενώ λιγότερο έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί τα PV-T συστήματα που χρησιμοποιούν σύστημα συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας για την μείωση του κόστους και την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων.

Η χρήση του νερού ως ρευστού απολαβής της θερμότητας είναι αποδοτική όλο το έτος, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Αυτές οι υβριδικές διατάξεις μπορούν να αξιοποιηθούν για την θέρμανση του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες συγχρόνως την διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας στα PV-πλαίσια.

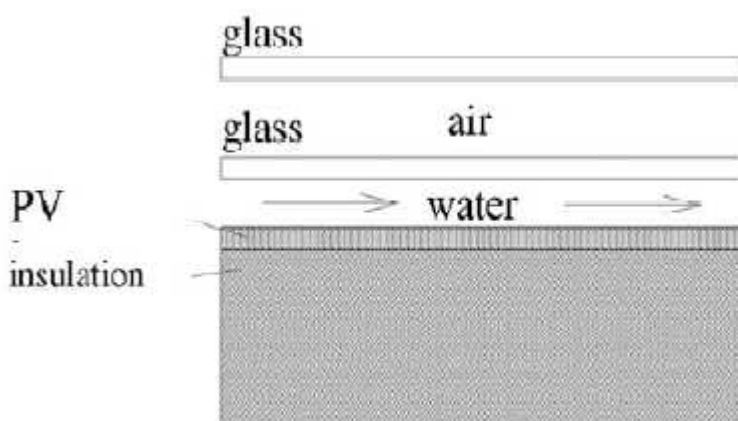
Οι βασικοί τύποι υβριδικών PV-T είναι , (νερού. PV-T/water ή αέρα PV-T/air) μπορεί να φέρουν πρόσθετο διαφανές (γυάλινο) κάλυμμα (PVT+GL), για αύξηση της θερμικής απόδοσης, ή και να είναι ακάλυπτοι, για να μην έχουν μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Παρακάτω παρουσιάζονται συνδιασμοί υβριδικών PV-T συλλεκτών.

- Οι επίπεδοι συλλέκτες (flat-plate collectors ή sheet-and-tube PVT-collectors) είναι ο πιο απλός τρόπος κατασκευής ενός PV-T όπου το φωτοβολταϊκό πάνελ είναι προσαρτημένο στην κορυφή της απορροφητικής πλάκας με τους σωλήνες, το γυάλινο κάλυμμα, και η μόνωση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα.



Σχήμα 4.2 : σχηματική διάταξη ενός επίπεδου συλλέκτη

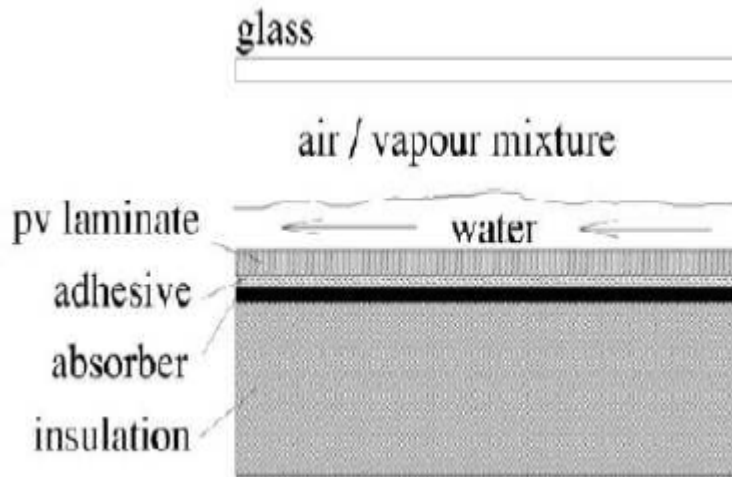
- Οι συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια (channel PV/T-collectors) φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Αυτού του τύπου οι συλλέκτες υπόκεινται σε περιορισμούς όσον αφορά τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στις συνήθεις εφαρμογές επιτρέπεται να χρησιμοποιείται νερό που έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι, το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού.



Σχήμα 4.3 : Σχηματική διάταξη PV/T με κανάλια

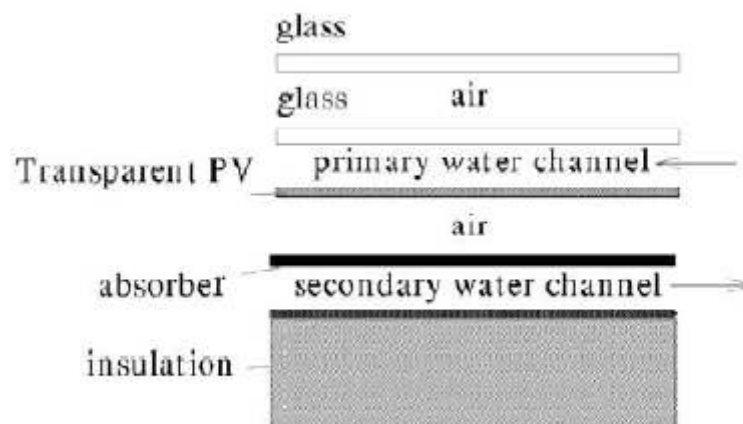
- Οι ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτες (free flow PV/T collectors). Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό όπως φαίνεται στην φωτογραφία που ακολουθεί. Σε σύγκριση με τους συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια εδώ δεν έχουμε το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται, ενώ επιπρόσθετα το πρόβλημα αντοχής του επιπλέον γυαλιού εξαλείφεται. Στον αντίποδα το μειονέκτημα του είναι η αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης. Επιπλέον όπως και στην περίπτωση των συλλεκτών ΦΒ/Θ με κανάλια και εδώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το υγρό που κυλάει πάνω

από το φωτοβολταϊκό θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η χρησιμοποίηση του νερού είναι μια λύση όμως, εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Η εξάτμιση έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί προβλήματα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή.



Σχήμα 4.4 : Σχηματική διάταξη ελεύθερης ροής PV/T συλλέκτη

- Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors) χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι. Παρόλα αυτά, οι επιστημονικές προηγουμένως για το βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφανο μονωτικό στρώμα ανάμεσα στο επάνω και το κάτω κανάλι ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Όμως αυτό μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη. Στη φωτογραφία φαίνεται η διάταξη ενός ΦΒ/Θ συλλέκτης διπλής απορρόφησης.



Σχήμα 4.5 : Σχηματική διάταξη PV/T συλλέκτη διπλής απορρόφησης

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ PV-Thermal

Για την μελέτη της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού-θερμικού πάνελ κατασκευάστηκε η πειραματική διάταξη όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα πριν και μετά την τοποθέτηση του πετροβαμβακα. Πιο αναλυτικά για την κατασκευή του γίνεται αναφορά παρακάτω.

Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε το πίσω μέρος του PV όπου έχει τοποθετηθεί η συλλεκτική επιφάνεια. Στην δεύτερη εικόνα αφού έχει τοποθετηθεί η μόνωση με πετροβάμβακα.



Εικόνα 5.1. Η συλλεκτική επιφάνεια στο πίσω μέρος του PV-T



Εικόνα 5.2 : Η πίσω επιφάνεια του PV/T με την μόνωση

Έχει συνδιαστεί ένα φωτοβολταϊκό πάνελ της εταιρείας SOLAR WORLD, SW 80 mono/R5E, η συλλεκτική επιφάνεια ενός ηλιακού συλλέκτη, μόνωση από πετροβάμβακα, ένα δοχείο 40lt για την κυκλοφορία του νερού και μία αντλία όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5.3 : Η πειραματική διάταξη

Το νερό εισέρχεται από κάτω δεξιά του PV-T και εξέρχεται πάνω αριστερά, έχει υπολογιστεί η παροχή του νερού 0,5 Kg/s, ένα θερμομετρο επαφής έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού και άλλο ένα θερμομετρο στον σωλήνα εξόδου του νερού.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ που χρησιμοποιήθηκε αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 5.1 : Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε S.T.C. συνθήκες

ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ	P_{max}	80 WP
Τάση ανοικτού κυκλώματος	V_{oc}	21,9 V
Τάση μέγιστης Ισχύος	V_{mpp}	17,5V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως	i_{sc}	5 A
Ρεύμα μέγιστης Ισχύος	I_{mpp}	4,58 A

Πίνακας 5.2 : Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε N.O.C.T. συνθήκες

ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ	P_{max}	57,2 WP
Τάση ανοικτού κυκλώματος	V_{oc}	19,8 V
Τάση μέγιστης Ισχύος	V_{mpp}	15,7V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως	i_{sc}	4,13 A
Ρεύμα μέγιστης Ισχύος	I_{mpp}	3,64 A

Πίνακας 5.3 : Θερμικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού

N.O.C.T.	45,5 °C
TC I_{sc}	0,036%/K
TC V_{oc}	-0,33%/K

Το φωτοβολταϊκό αποτελείται από 36 κυψελίδες μονοκρυσταλικού πυριτίου και το πίσω μέρος του PE/Al/tehdlar film το οποίο έχει συμπεριληφθεί και στους υπολογισμούς του U_L που είναι ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών.

Ο συλλέκτης που έχει τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πάνελ, αποτελείται από φύλλα και σωλήνες χαλκού, τα οποία έχουν τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκονται σε άμεση επαφή με την πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και τέλος η μόνωση με πετροβάμβακα η οποία έχει κολληθεί με ταινία αλουμινίου.

Όλες οι μετρήσεις έχουν γίνει ώρες με την μέγιστη ακτινοβολία δηλαδή από τις δώδεκα το μεσημέρι έως και τις 4 το αργότερο, ο συλλέκτης είχε προσανατολισμό στον Νότο σε κλίση 40°. Οι μετρήσεις ήταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, η θερμοκρασία του νερού εξόδου, τα Volt και Amπερε ετσι ώστε να συγκριθεί η αύξηση της τιμής των Volt καθώς πέφτει η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού λόγω του νερού αλλά και την θερμική και ηλεκτρική απόδοση που έχει.

5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.2.1 Τύποι και σταθερές για τους υπολογισμούς f-chart , T_c , Q_u , η_{th} , η_{el}

Υπολογισμός του ποσοστού κάλυψης ενός θερμικού φορτίου L από το φωτοβολταϊκό-θερμικό πανελ κατά την διάρκεια όλου του χρόνου με την μέθοδο της καμπύλης f-chart γίνεται από το πολυώνυμο (5.2.α), αφού προσδιοριστούν πρώτα οι συντεταγμένες $X_A=X/A_c$ και $Y_A=Y/A_c$ με χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων της Πάτρας τα οποία είναι κατηγοριοποιημένα σε πίνακες όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και με την βοήθεια των παρακάτω τύπων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών και οι γραφικές παραστάσεις βρίσκονται στα επόμενα κεφάλαια. [1]

$$X_A = \frac{\text{qermikéV apól eieV sul l ékth}}{\text{sunol ikó qermikó j ortío}} = \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) x \frac{F_R U_L (T_{ref} - T_a) \Delta t * K_2 * K_3}{L} \quad (5.1)$$

$$Y_A = \frac{\text{aporroj oúmenh apó sul l ékth hliakή enérgeia}}{\text{sunolikó qermikó j ortío}} =$$

$$= \frac{F'_R(\overline{ta})H_T}{L} = \frac{F'_R}{F_R} \times \frac{\overline{ta}}{(ta)_n} \times \frac{F_R(ta)_n H_T K_4}{L} \quad (5.2)$$

$$f(X, Y) = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (5.2.a)$$

Στους υπολογισμούς που έχουν γίνει ο λόγος $\frac{F'_R}{F_R}$ και ο διορθωτικός συντελεστής K_4 δεν έχουν συμπεριληφθεί διότι αναφέρονται σε εναλλάκτη θερμότητας όπου στην συγκεκριμένη διάταξη δεν έχουμε.

Οι συντελεστές K_2, K_3 στον ανωτέρω τύπο για τον υπολογισμό του X_A , αναφέρονται ο μιν K_2 είναι διορθωτικός συντελεστής λόγω του μεγέθους της χωρητικότητας της δεξαμενής διότι η πολυωνυμική έκφραση για την f-chart ισχύει για συγκεκριμένη χωρητικότητα δεξαμενής 75lt ενώ εμείς έχουμε 40lt οπότε υπολογίζεται από την σχέση $K_2 = (M/75)^{-1/4}$ όπου M είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής. Ενώ ο συντελεστής K_3 εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού T_m του δικτύου που εισέρχεται στο σύστημα και από την θερμοκρασία του θερμού νερού T_w που θα αποθηκευθεί στην δεξαμενή, δίνεται από την σχέση :

$$K_3 = (11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32\overline{T_a}) / (100 - \overline{T_a}) \quad (5.3)$$

Όπου,

$\overline{T_a}$: η μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Οι τιμές της δίνονται από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.4 : Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της μέρας (°C)

ΖΩΝΗ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΜΟ
1	14	14	16	18	22	27	30	29	26	23	19	16	21
2	13	13	15	18	22	27	29	29	26	22	18	14	21
3	12	13	14	18	21	27	29	29	25	21	17	14	20
4	9	10	13	17	21	27	29	29	25	19	15	10	19
5	7	9	11	17	21	26	29	28	25	19	13	8	18
6	5	8	11	16	21	26	29	27	24	18	12	7	17

Το $(ta)_n$ είναι συντελεστής που χαρακτηρίζει την αποροφητικότητα του συλλέκτη το οποίο έχει υπολογιστεί από το διάγραμμα της απόδοσης η του συλλέκτη συναρτήσει της ποσότητας $(T_{f,i} - T_a) / I_T$

Όπου οι μέσες μηνιαίες τιμές του $\frac{\overline{ta}}{(ta)_n}$ δίνονται από πίνακες για συλλέκτες

με ένα ή δύο γυάλινα καλύμματα ανάλογα με την κλίση του ηλιακού συλλέκτη όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε για κλίση 40°

Το \overline{H}_T είναι η μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη υπολογισμένη για κλίση 40° όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 5.5 : Οι μέσες μηνιαίες τιμές του λόγου $(\overline{t_a})/(\overline{t_a})_n$ για συλλέκτη με ένα γυάλινο κάλυμμα.

Κλίση Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιανουάριος	0.79	0.85	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Φεβρουάριο	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.91
Μάρτιος	0.88	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.89	0.86
Απρίλιος	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.90	0.88	0.84	0.78
Μάιος	0.93	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.84	0.78	0.71
Ιούνιος	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.89	0.86	0.81	0.81	0.75	0.67
Ιούλιος	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.87	0.82	0.76	0.68
Αύγουστος	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.89	0.86	0.81	0.74
Σεπτέμβρης	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.88	0.83
Οκτώβριος	0.86	0.89	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.89
Νοέμβριος	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Δεκέμβριος	0.77	0.83	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94
Μέσος Όρος	0.88	0.90	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.87	0.82

Όπου F_R είναι ο συντελεστής θερμικής απολαβής [1]

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p / A_c}{U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (5.4)$$

Και F' παράγοντας της απόδοσης του συλλέκτη, που ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής αντίστασης της επιφάνειας συλλέκτη με το περιβάλλον, προς την θερμική αντίσταση ρευστού-περιβάλλοντος. [1,3,4]

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{l' \left[\frac{1}{U_L(D+2wh_f)} + \frac{1}{h_{c,i}pD} \right]}, \quad (5.5)$$

$$h_f = \frac{\tanh m(l'-D)/2}{m(l'-D)/2} \quad (5.6)$$

$$m = \left(\frac{U_L}{kt} \right)^{1/2} \quad (5.7)$$

Όπου το h_f είναι η απόδοση πτερυγίου και $h_{c,i}$ ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας [1]

Το h που βρίσκεται στον τύπο 5.6 είναι συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

$$h = \frac{Nu \cdot k_w}{D} \quad (5.8)$$

k_w η θερμική αγωγιμότητα του ρευστού και ο ριθμός Nusselt υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$Nu = 1 + 1.44 \cdot \left(1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta} \right) \cdot \left[1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1.8\beta)^{1/6}}{Ra \cdot \cos\beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (5.9)$$

Στον παραπάνω τύπο για τον προσδιορισμό του αριθμού Nusselt, το + στο πάνω μέρος στις παραθέσεις δείχνει πως υπολογίζονται μόνο αν είναι θετικός ο αριθμός. [3]

Ο αριθμός Rayleigh έχει υπολογιστεί από τον ακόλουθο τύπο [3]

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (5.10)$$

Όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$

$$\text{Το } b' = \frac{1}{T_f}, \quad T_f = \frac{T_b - T_c}{2} \quad (5.11)$$

Όπου T_f είναι η μέση θερμοκρασία του πάνελ, T_b στην επάνω επιφάνεια και T_c στην κάτω.

Το ν είναι το κινηματικό ιξώδες και α είναι η θερμική διαχυτότητα του αέρα.

Το U_L , συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών και ισούται με το άθροισμα των απωλειών από το πίσω μέρος του συλλέκτη U_b , από μπροστά U_t και από τα τοιχώματα U_e όπως φαίνεται στους παρακάτω τύπους αναλυτικά. [2,3,4,5,6]

$$U_L = U_b + U_t + U_e, \quad (5.12)$$

$$U_b = \frac{k}{\Delta C}, \quad (5.13)$$

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{(N+f)} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{s(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{e_p + 0,0059 \left[N h_w \right]} + \frac{2N f - 1 + 0,133 e_p}{e_g} - N} \quad (5.14)$$

$$U_e = \frac{k_{al} \square s \ d}{A_c \square L_s} \quad (5.15)$$

Όπου,

$$h_w = 5,7 + 3,8 \cdot V_w \quad (5.16)$$

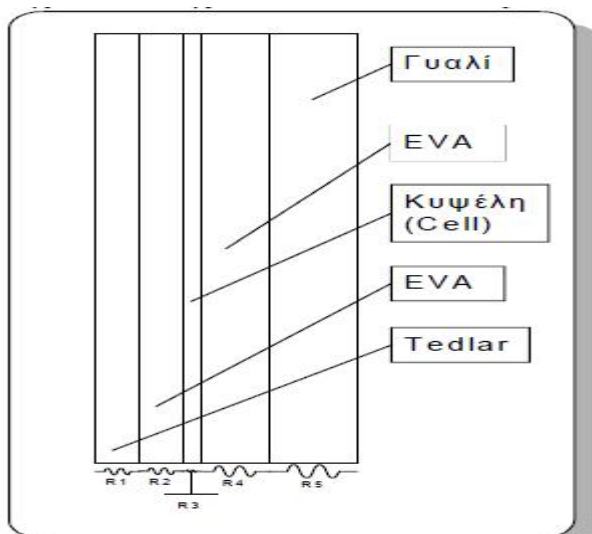
$$C = 520(1 - 0,000051 \cdot b^2) = 466 \quad (5.17)$$

$$f = (1 + 0,089h_w - 0,1166h_w e_p)(1 + 0,07866N) = 1,2941 \quad (5.18)$$

$$e = 0,430 \left(1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) = 0,285 \quad (5.19)$$

Στον υπολογισμό του U_b έχει υπολογιστεί το σύνολο των k και $\Delta\chi$, tedlar, EVA, corper και μονωση πετροβάμβακα

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών βρίσκονται στον πίνακα 5.8



Σχήμα 5.1 : Τομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του συλλέκτη θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο, οι υπολογισμοί που έχουν γίνει είναι για όλο τον χρόνο.[2]

$$T_c = T_{f,in} + \frac{Q_u / A_c}{F_R \cdot U_L} \cdot (1 - F_R) \quad (5.20)$$

Όπου Q_u είναι το θερμικό κέρδος του ηλιακού συλλέκτη και υπολογίζεται από τον κάτωτι τύπο

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (ta) - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)] \quad (5.21)$$

Όπου ,

$T_{f,i}$ είναι η θερμοκρασία εισόδου του νερού

T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος

I_T είναι η ηλιακή ακτινοβολία

Το γινόμενο $I_T \cdot (ta)$ αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία που απορροφά η συλλεκτική επιφάνεια όπου (ta) είναι η ενεργός τιμή του γινομένου $t \cdot a$ που λαμβάνει υπόψη όλες τις διάχυτες και οπισθοανακλώμενες δέσμες που προκύπτουν από την οπτική ανάλυση της προσπίπτουσας I_T . Για τον προσδιορισμό του (ta) έχουν γίνει διάφορες πειραματικές μελέτες και έχουν δοθεί διάφοροι τύποι για τον προσδιορισμό του, μια τυπική τιμή που χρησιμοποιείται είναι $(ta) = 0,74$ όπως και έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη. [1]

Πίνακας 5.6: Σταθερές που έχουν χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς.

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
ϵ_p	Emissivity panel	0,95
ϵ_g	Emissivity glass	0,9
h_w	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αέρα	9,5 w/m ² °C
σ	Σταθερά Steffan-Bolzman	5,67*10 ⁻⁸ w/m ² °C
V_w	Ταχύτητα ανέμου	1m/sec
T_{pm}	Μέση θερμοκρασία επιφάνειας συλλέκτη	300K
T_a	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	295K
k_{tedlar}	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	0,2W/mK
k_{EVA}	<<	0,35W/mK
k_{copper}	<<	0,95W/mK
$k_{\text{πτεροβάμβακα}}$	<<	0,040W/mK
k_{al}	Συντελεστής αλουμινίου	0,112
$h_{c,i}$	Επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	953,07W/mK

k_w	Θερμική αγωγημότητα ρευστού	0,03
ν	Κινηματικό ιξώδες	$1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$
α	Θερμική διαχυτότητα του αέρα	$2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$
β'		$3,1 \cdot 10^{-3}$
k	Θερμική αγωγ.χαλκου	390W/mC
t	πάχος	$5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
$T_{f,i}$	Θερμοκρασία νερού εισόδου στο PV-T	21 °C

Πίνακας 5.7 : Διαστάσεις του συστήματος

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
A_c	Επιφάνειες συλλέκτη	0,6324 m ²
D	Διάμετρος σωλήνων	0,01 m
$\Delta\chi_u$	Πάχος μόνωσης	0,03 m
$\Delta\chi_x$	Πάχος χαλκού	0,0002
w	Απόσταση σωλήνων	0,095 m
l'	Αποσταση κέντρων των σωλήνων	0,105
N	Αριθμός γυάλινων καλυμμ.	1
β	Κλίση του συλλέκτη	40°
d	Πάχος συλλέκτη	0,025m
L_s	Πάχος αλουμινίου	0,01m
$\Delta\chi_{\text{πετροβ}}$	Πάχος μόνωσης πετροβαμβ.	0,03m
$\Delta\chi_{\text{EVA}}$		0,0005m
$\Delta\chi_{\text{copper}}$	Πάχος χαλκού	0,0002m
$\Delta\chi_{\text{tedlar}}$		0,0001m
s	Περίμετρος PV	3,454m
d	Πάχος συλλέκτη	0,025m

Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι :

Πίνακας 5.8 : Υπολογισμοί που έχουν γίνει.

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
\dot{m}	Μαζική παροχή	0,5Kg/sec
Nu	Αριθμός Nusselt	3,05
h	Tan h	9,16W/mK
Ra	Αριθμός Rayleigh	1128
η_f	Απόδοση πτερυγίου	0,159
U_b	Απώλειες στο πίσω μέρος του συλλέκτη	1,3262 W/m ² K
U_t	Απώλειες στο μπροστά μέρος του συλλέκτη	4,899 W/m ² K
U_e	Απώλειες από τα πλαινά τοιχώματα του συλλέκτη	1,52 W/m ² K
U_L	Συνολικές απώλειες του συλλέκτη	7,75 W/m ² K
F_R	Συντελεστής θερμικής απολαβής	0,4268
F'	Συντελεστής ικανότητας	0,23
$(\tau\alpha)_n$	Συντελεστής απορροφητικότητας	0,74
h_o	Ηλεκτρική απόδοση του PV για συνθήκες N.O.C.T.	0,11306

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής και θερμικής απόδοσης του PV-T χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι από paper [6]

$$h_{el} = h_o (1 - 0,0033[T - 25^\circ C]) \quad (5.22.a)$$

$$h_{th} = F_R (ta) - F_R U_L \left(\frac{T_{f,i} - T_a}{I_T} \right) \quad (5.22.\beta)$$

Όπου h_o είναι η απόδοση μέγιστης ισχύος σε συνθήκες N.O.C.T. και T η θερμοκρασία του PV και -0,0033 είναι το ποσοστό μείωσης της τάσης ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπου τον αριθμό αυτό τον έχω πάρει από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου PV που έχω χρησιμοποιήσει.

Για τον προσδιορισμό της f-chart του φωτοβολταϊκού χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι και διαγράμματα από Duffie & Beckman p.786

$f = \sum \bar{E}_L / \sum L$ είναι η συνολική ενέργεια του φορτίου προς το σύνολο του φορτίου υπολογισμένα για όλο τον χρόνο. Πιο αναλυτικά για τον προσδιορισμό τους έχουμε

$$\bar{E}_L = E_i - E_{ex}, \quad (5.23)$$

$$E_i = h \cdot A_c \cdot I_T, \quad (5.24)$$

$$E_{ex} = E_i \cdot j \quad (5.25)$$

Όπου E_i είναι η μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας και E_{ex} η περίσσεια ενέργεια και j συντελεστής εκμετάλευσης όπου τον βρίσκουμε από τα διαγράμματα 5.2 και 5.3 βάση του συντελεστή $R_b = \frac{q_z}{q}$ και από τον συντελεστή αιθριότητας \bar{K}_T που είναι ο λόγος της μηνιαίας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας όπου τα δεδομένα αυτά που χρησιμοποιήθηκαν είναι από πίνακες στο βιβλίο Ηλιακή Μηχανική.

Τα q_z και q τα βρίσκουμε από το διάγραμμα 5.1 ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος.

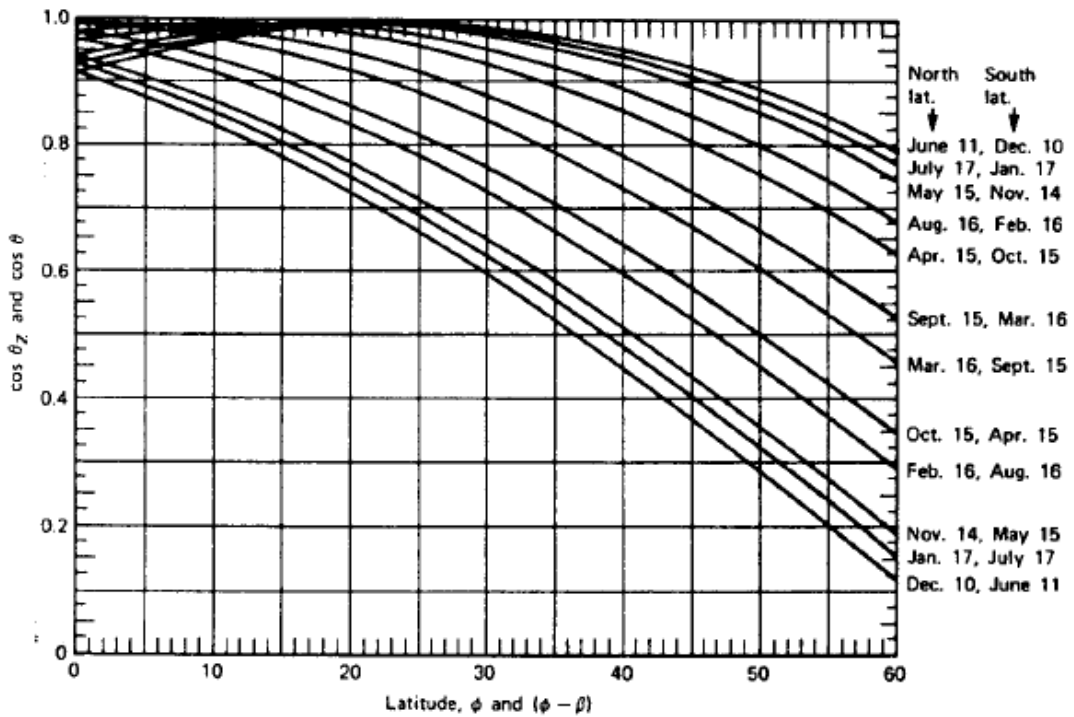
Η απόδοση υπολογίστηκε από τον τύπο

$$h = h_{mp,ref} \left[1 + \frac{m_{mp}}{h_{mp,ref}} (T_a - T_{ref}) + \frac{m_{mp} G_T}{h_{mp,ref}} \cdot \frac{ta}{U_L} \left(1 - \frac{h_{mp,ref}}{(ta)} \right) \right] \quad (5.26)$$

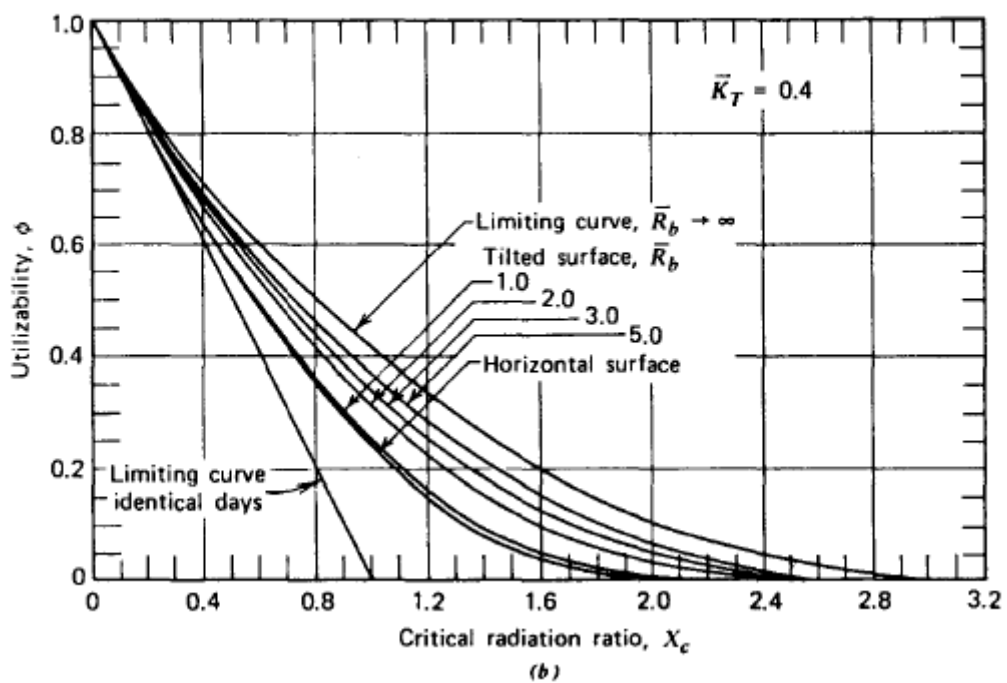
Όπου το $h_{mp,ref}$ είναι το h_o η απόδοση μέγιστης Ισχύος που χρησιμοποιήθηκε στον τύπο 5.22, το G_T είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και το $\frac{ta}{U_L}$ υπολογίστηκε από τον τύπο

$$\frac{ta}{U_L} = (T_{c,NOCT} - T_a) / G_{T,NOCT} \quad (5.27)$$

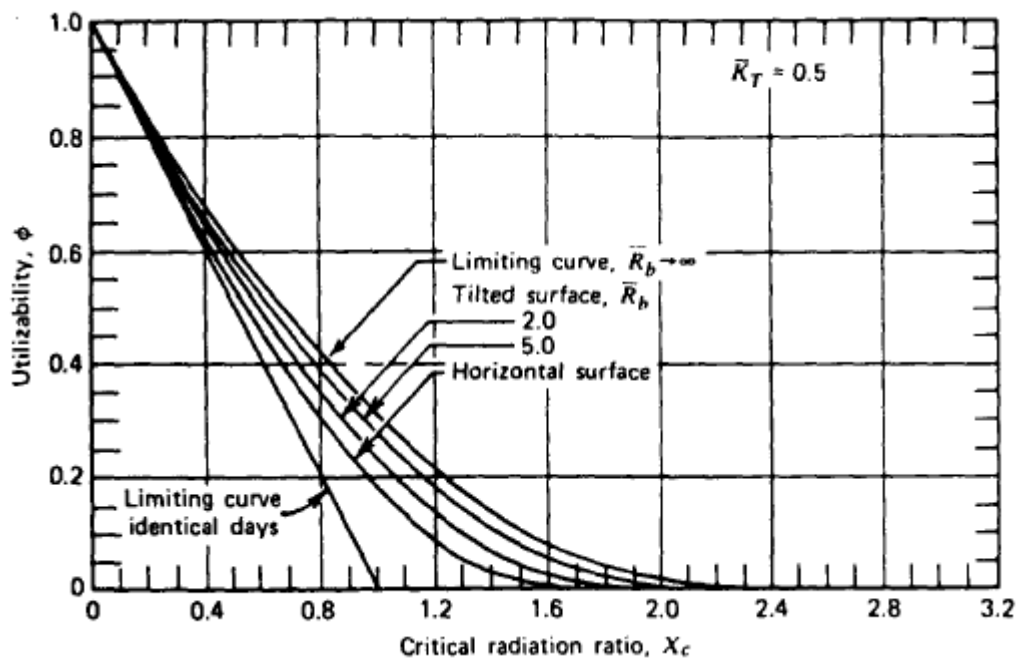
Διάγραμμα 5.1 : Από (Duffie & Beckman) για προσδιορισμό του q_z και q



Διάγραμμα 5.2 :



Διάγραμμα 5.3 :



Πίνακας 5.9 : μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (Mj/m^2)

ΓΕΩΓ ΠΛΑΤΟ Σ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
35	561	653	908	1065	1228	1236	1349	1147	945	772	576	518
40	468	573	843	1029	1218	1242	1249	1122	891	691	489	422

Πίνακας 5.10 : Μέσες μηνιαίες τιμές της Ηλιακής Ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο της θάλασσας ανά ζώνη (Mj/m^2)

ΖΩΝΗ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220
2	230	274	418	493	691	752	781	713	736	382	270	198
3	220	259	400	493	648	754	781	713	526	367	241	187
4	194	234	371	493	644	724	781	695	504	349	220	173
5	169	223	360	493	644	680	727	670	486	328	220	162
6	169	216	349	468	612	666	706	641	464	313	202	162

5.3 ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Χρησιμοποιώντας τους τύπους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκαν οι τιμές των f-chart του PV και του PV-T, T_c , Q_u , V_{oc} , η_{th} , η_{el} .

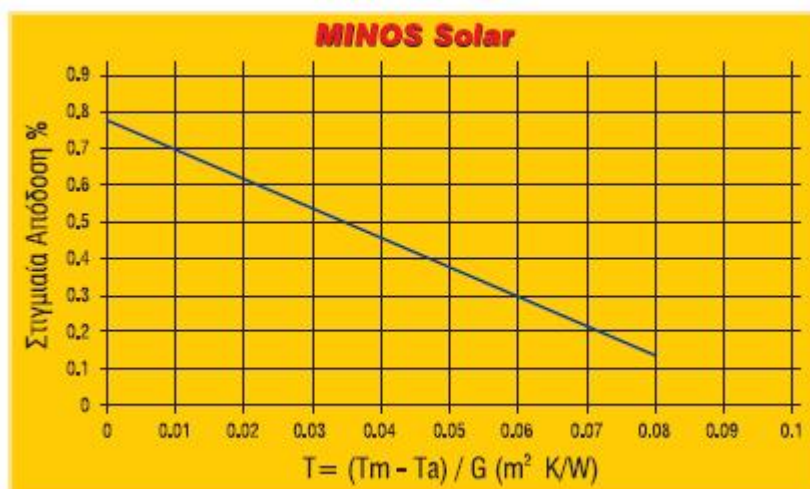
Στους πίνακες του παραρτήματος βλέπουμε την εξάρτηση των τιμών των θερμικών και ηλεκτρικών αποδόσεων του συλλέκτη από την θερμοκρασία όπως επίσης και της τιμής της V_{oc} πρώτα από τους υπολογισμούς που έγιναν για όλο τον χρόνο και μετά πιο αναλυτικά από τις μετρήσεις.

Οι μετρήσεις κατά την πειραματική διαδικασία, έγιναν τους μήνες Μάιο και Ιούνιο λόγω της αύξησης της έντασης της ηλιακής ενέργειας τους μήνες αυτούς και παρατίθενται στους επόμενους πίνακες σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι μετρήσεις έγιναν σε τρεις φάσεις αρχικά χωρίς την διοχέτευση νερού στο σύστημα έτσι ώστε να δούμε την μέγιστη τιμή που μπορεί να φθάσει η T_c και να μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση του με αυτή όταν περνάει νερό από τις σωλήνες. Δεύτερον αφού η θερμοκρασία της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού είχε φθάσει σε υψηλή τιμή διοχετεύσαμε νερό από το δίκτυο έτσι ώστε να παρατηρήσουμε κατά πόσο μπορεί να πέσει η θερμοκρασία T_c άρα και να αυξηθεί η απόδοσή του. Τρίτον να ξεκινάει να λειτουργεί και ο συλλέκτης διοχετεύοντας νερό από το δίκτυο μαζί με το PV έτσι ώστε να δούμε κατά ποσο μπορεί να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία T_c την θερμική απόδοση του και την ηλεκτρική.

5.3.1 Διαγράμματα από τους υπολογισμούς των των f-chart, T_c , Q_u , V_{oc} , η_{th} , η_{el} .

Στο παράρτημα είναι οι τεσσερις πίνακες που έχουν υπολογιστεί, αρχικά η f-chart ενός ηλιακού συλλέκτη της αγοράς έτσι ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε τις αποδόσεις με το φωτοβολταϊκό θερμικό πανελ. Το οποίο έχει χωρητικότητα 120 λίτρα Από το διάγραμμα της απόδοσης συναρτηση της ποσοτητας $(T_m - T_a) / IT$ του κατασκευαστή του ηλιακού συλλέκτη πήρα τα στοιχεία $F_R U_L$ και $F_R(\tau\alpha)$



Εικόνα 5.4 : η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη ως σημείο αναφοράς

Τα οποία, $F_R U_L$ είναι η κλίση της ευθείας που τέμνει τον άξονα των Y , υπολογίστηκε βάση δύο σημείων της ευθείας και η τιμή του $F_R(\tau_a)$ είναι το σημείο όπου η ευθεία τέμνει τον άξονα των Y . Τα στοιχεία που χρησιμοποιήσα για τους υπολογισμούς είναι στον πίνακα 5.11

Πίνακας 5.11 : θερμικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΜΗ
$F_R(\tau_a)$	0,79
$F_R U_L$	8,33
Κλίση συλλέκτη	40°
Χωρητικότητα	120 lt
Επιφάνεια	2 m ²

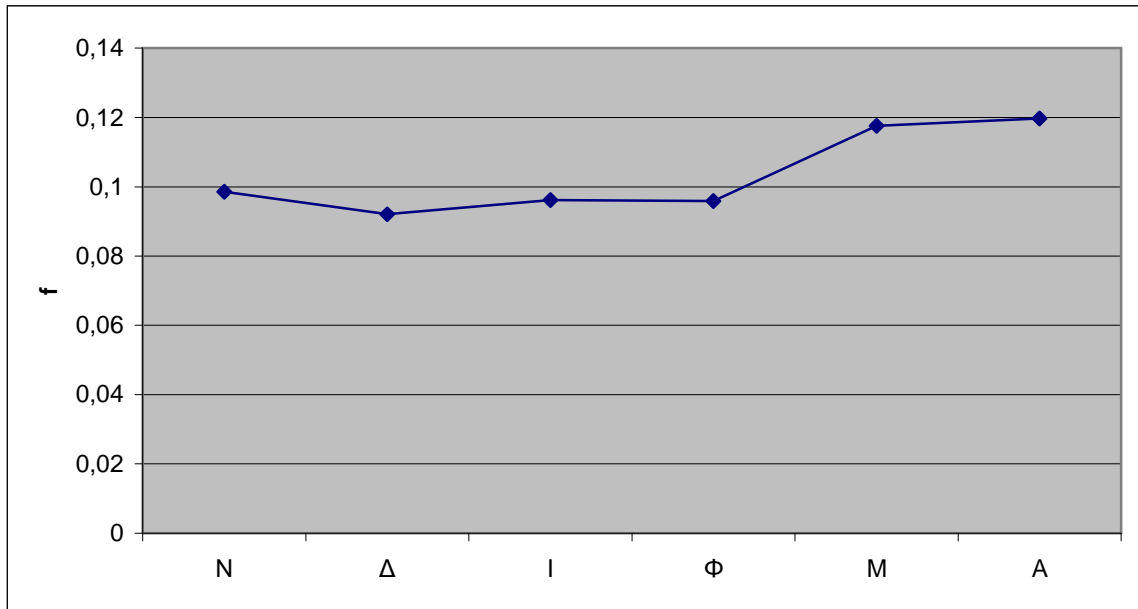
Μετα έχουν γίνει οι υπολογισμοί για το φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη, δηλαδή έχει υπολογιστεί η f-chart η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη, η τιμή της τάσης ανα μήνα και τέλος την ηλεκτρική και θερμική απόδοση που έχει το σύστημα.

Από τους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα παρατηρούμε το ποσοστό μείωσης της ηλεκτρικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού και της τιμής της V_{oc} ειδικά τους θερινούς μήνες όπου και αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι μικρότερες ηλεκτρικές απόδοσεις είναι τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο όπου συγχρόνως σε αυτούς τους μήνες έχουμε την μεγαλύτερη θερμική απόδοση.

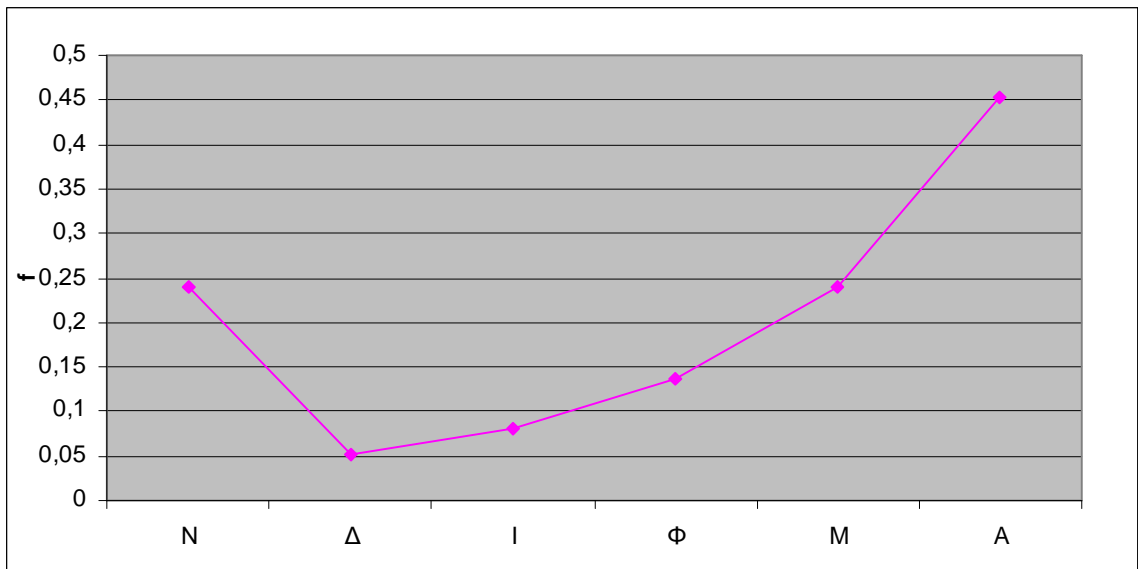
Όσον αφορά την f-chart παρατηρούμε πως οι τιμές της ηλεκτρικής απόδοσης η_{el} που υπολογίστηκαν για το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο είναι υψηλότερες και δεν μειώνονται τόσο όσο αυτές του απλού φωτοβολταϊκού.

Για παράδειγμα τον μήνα Ιούλιο υπολογίστηκε πως η απόδοση του απλού φωτοβολταϊκού είναι $\eta_{el} = 0,099$ ενώ για το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο $\eta_{el} = 0,111$. Σίγουρα αυτή η διαφορά θα φανεί καλύτερα στους πίνακες και διαγράμματα που έχουν γίνει σε επόμενο κεφάλαιο από της μετρήσεις.

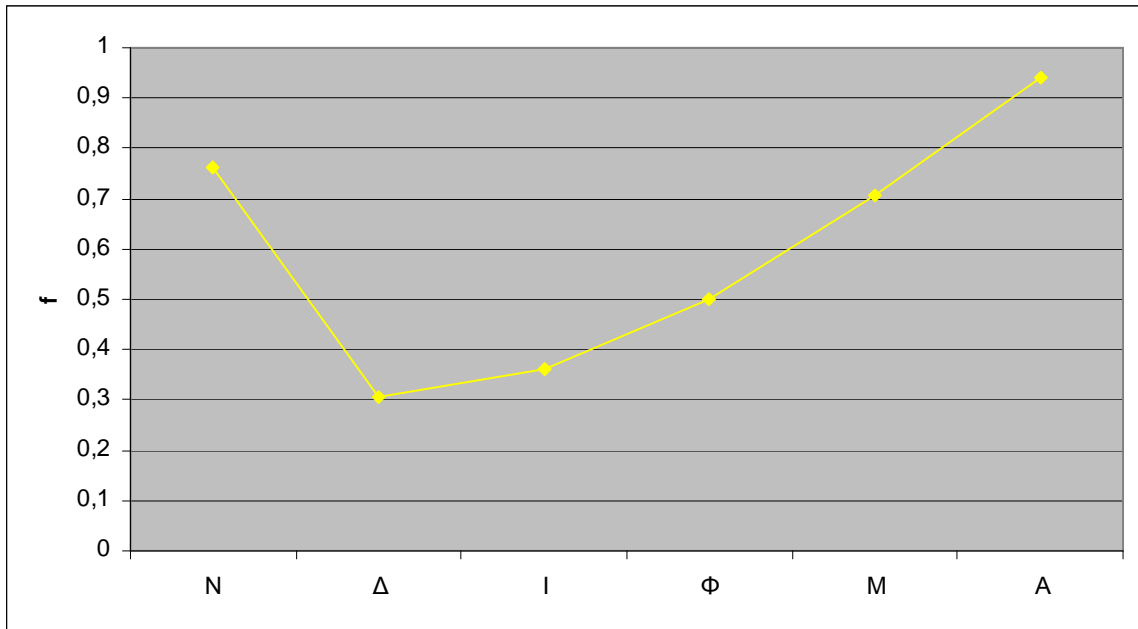
Τα διαγράμματα για το ποσοστό κάλυψης έχουν γίνει ανα έξη μήνες από Οκτώβριο έως και Μάρτιο και από Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο.



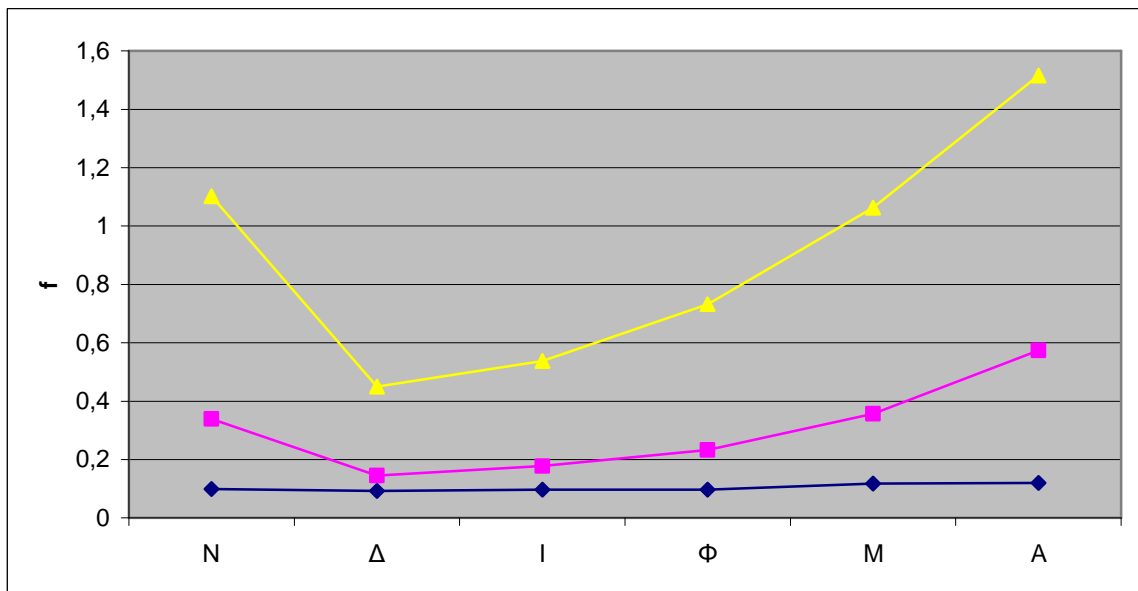
Διάγραμμα 5.4 : Το ποσοστό κάλυψης φορτίου από το φωτοβολταϊκό, για χειμώνα



Διάγραμμα 5.5 : Το ποσοστό κάλυψης ενός θερμικού φορτίου από το φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη, για χειμώνα



Διάγραμμα 5.6 : Το ποσοστό κάλυψης ενός θερμικού φορτίου από τον ηλιακό συλλέκτη, για χειμώνα



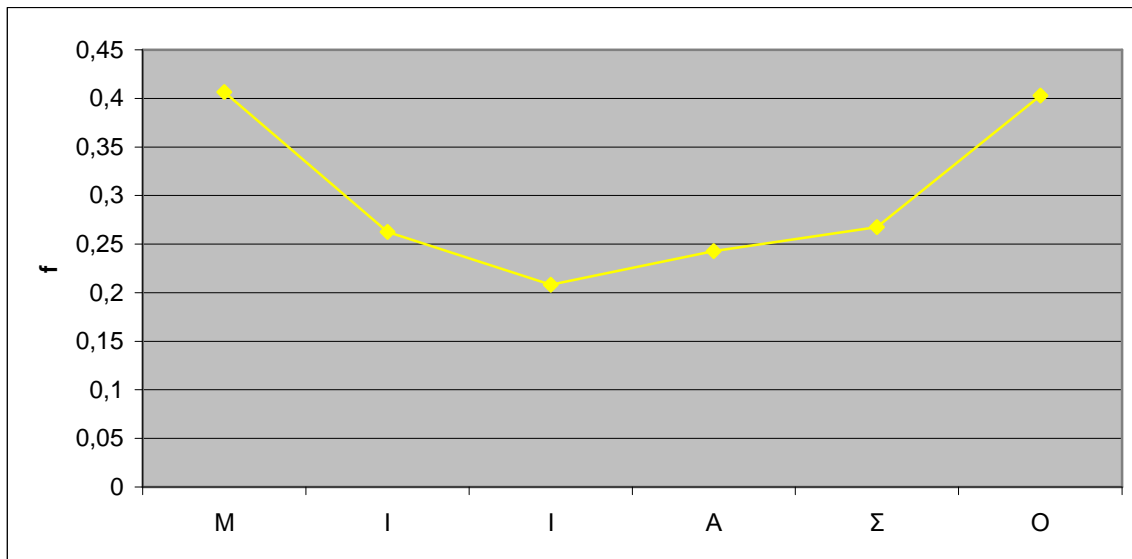
Διάγραμμα 5.7 : Συνδιασμός των τριών παραπάνω διαγραμμάτων.

Στο παραπάνω διάγραμμα, 5.6 με το μπλέ χρώμα είναι οι τιμές του φωτοβολταϊκού, με το ρόζ χρώμα είναι οι τιμές του PV/T και με το γαλαζιο οι τιμές του ηλιακού συλλέκτη. Οι τιμές αυτές είναι από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο μήνα, η διαφορά μεταξύ φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη και ηλιακού συλλέκτη είναι περίπου στο 30% τον Δεκέμβριο για παράδειγμα.

Στους υπολογισμούς που έγιναν για το φορτίο, το ίδιο φορτίο που υπολόγισα για τις τιμες της f-chart του ηλιακού συλλέκτη, το ίδιο ήταν και για το

φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη για αυτόν τον λόγο υπάρχει αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο καμπύλων ειδικά αν λαβουμε υπόψιν πως η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη είναι 2 m^2 και του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη είναι $0,6324 \text{ m}^2$. Τα ίδια ισχύουν και για τα παρακάτω διαγράμματα που αφορούν τους μήνες από Μάιο έως και Οκτώβριο.

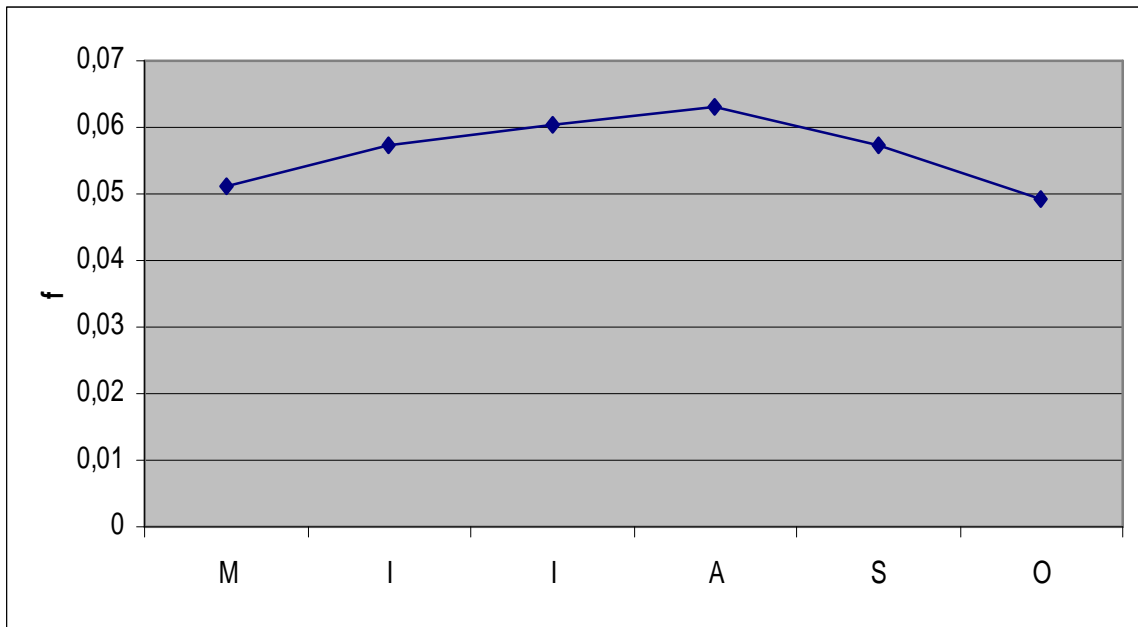
Τα παρακάτω τρία διαγράμματα είναι η συνέχεια των επάνω και είναι για τους θερινούς μήνες.



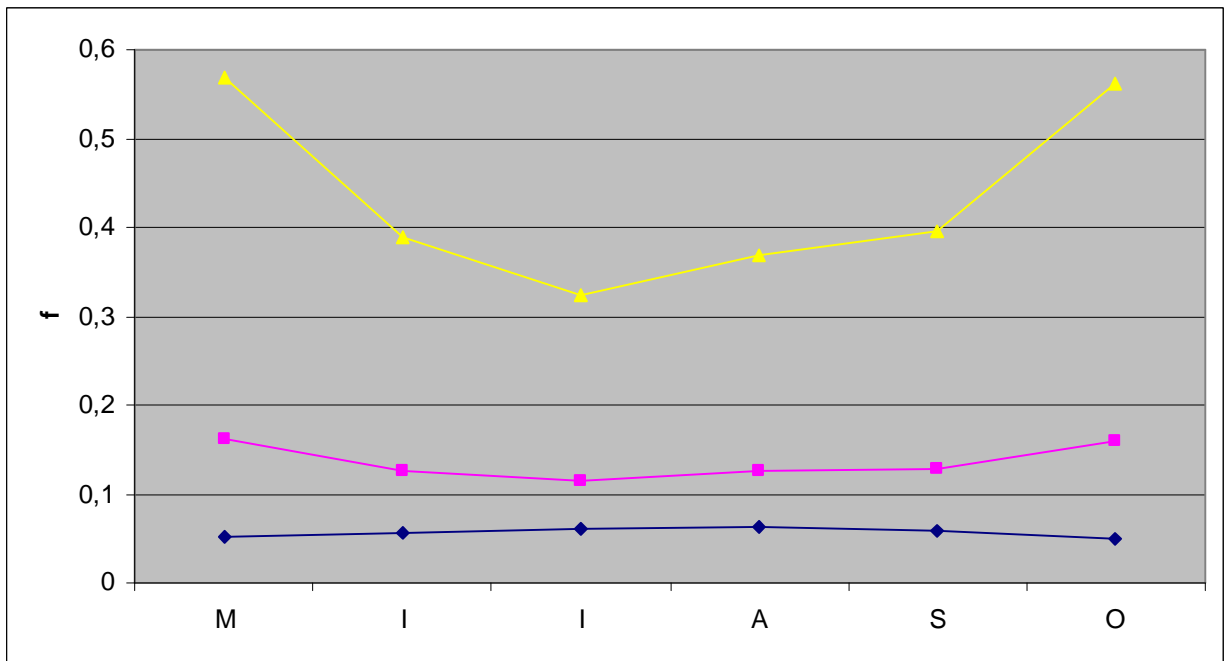
Διάγραμμα 5.8 : Το ποσοστό κάλυψης φορτίου από τον ηλιακό συλλέκτη, για καλοκαίρι



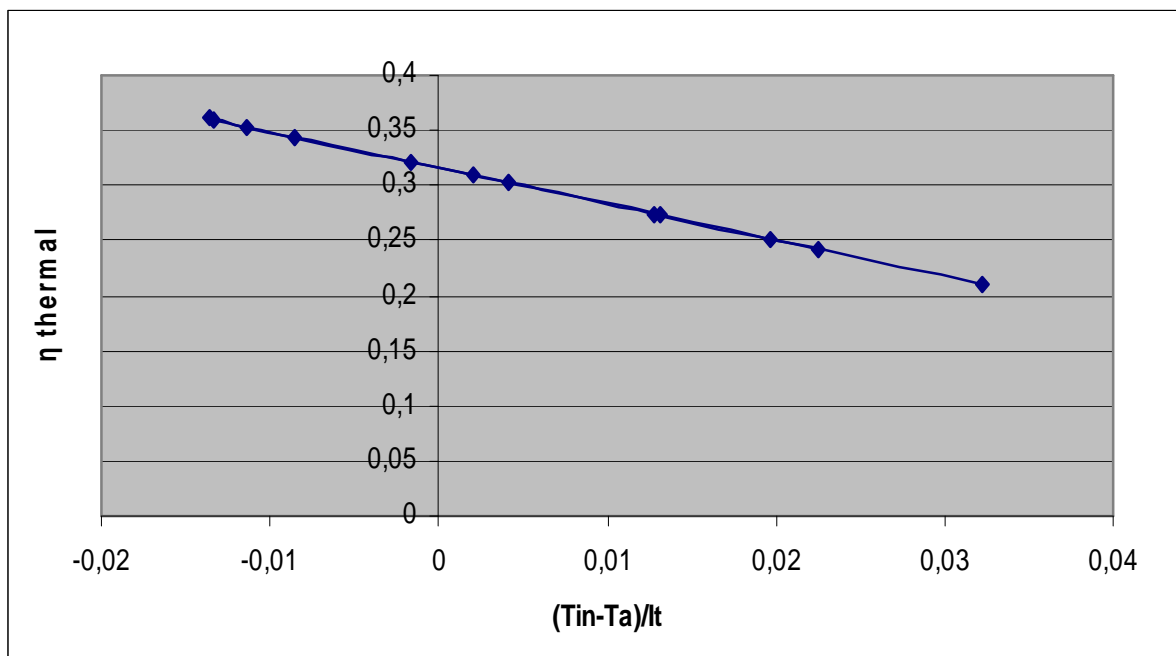
Διάγραμμα 5.9 : Το ποσοστό κάλυψης φορτίου από τον φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη, για καλοκαίρι



Διάγραμμα 5.10 : Το ποσοστό κάλυψης φορτίου από το φωτοβολταϊκό για καλοκαίρι

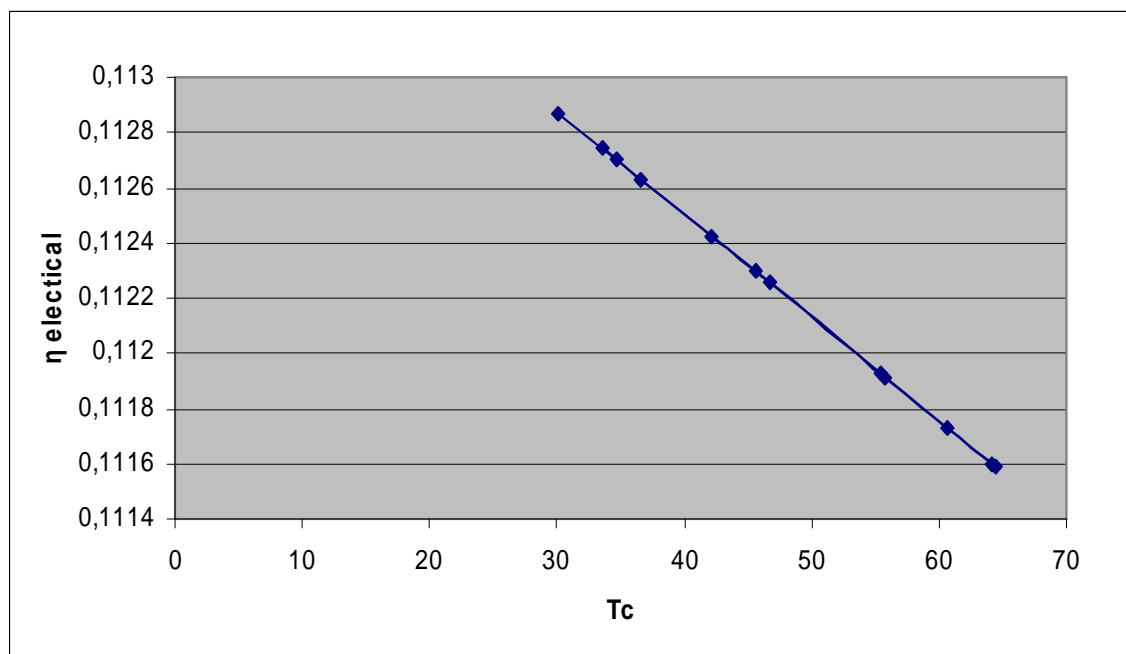


Διάγραμμα 5.11 : Συνδιασμός των τριών παραπάνω διαγραμμάτων.

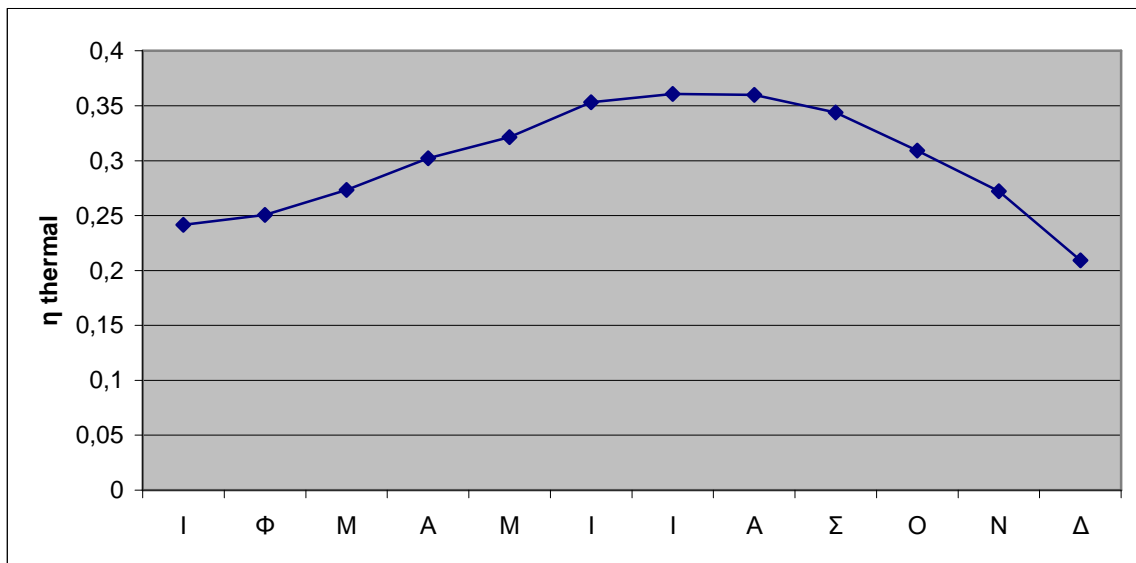


Διάγραμμα 5.12 : Θερμική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη συναρτήση της ποσότητας $(T_{in}-T_a)/I_T$

Από το παραπάνω διάγραμμα το σημείο όπου τέμνει η ευθεία τον κατακόρυφο άξονα είναι η τιμή της ποσότητας $F_R (t_a)$ που όπως φαίνεται είναι περίπου 0,31 με 0,32 και στους υπολογισμούς που είχαν γίνει είχε βγει αποτέλεσμα

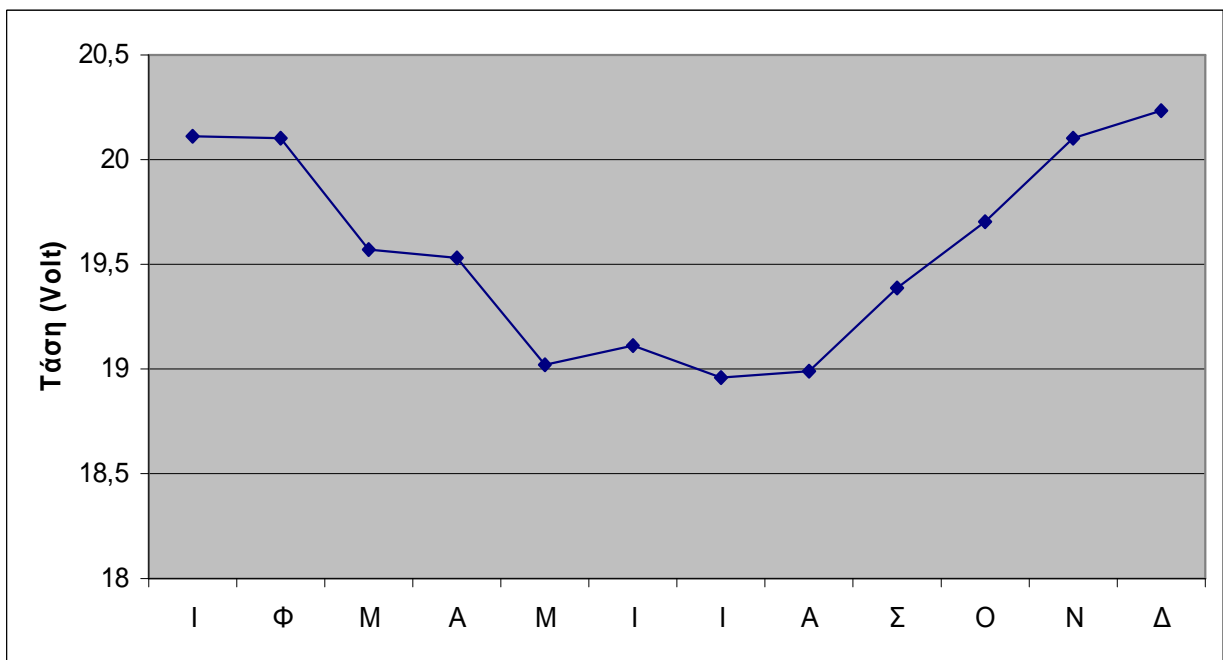


Διάγραμμα 5.13 : Ηλεκτρική απόδοση του PV/T συλλέκτη συναρτήση της θερμοκρασίας του PV-T σύμφωνα με τον πίνακα 5.12

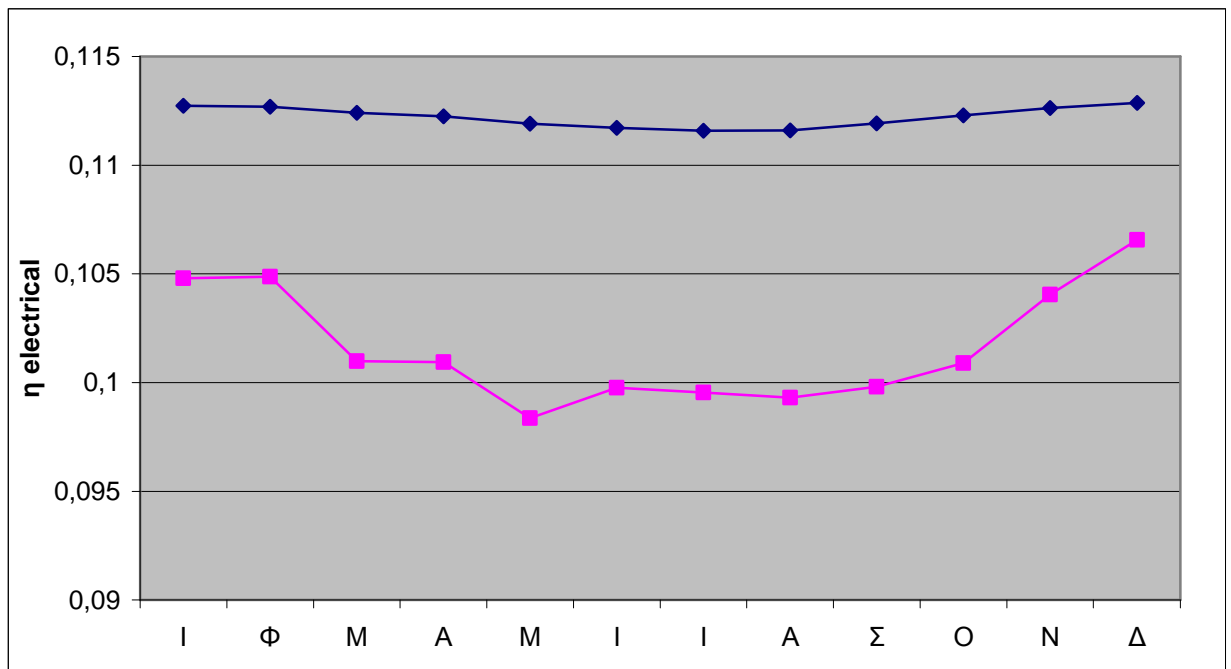


Διάγραμμα 5.14 : Η τιμή της θερμικής απόδοσης του PV/T για κάθε μήνα

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την αύξηση της θερμικής απόδοσης του PV/T όπου φτάνει το 36% η απόδοση τον μήνα Ιούλιο, αυτό είναι λογικό καθώς τους θερινούς μήνες έχουμε αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 5.15 : Η τιμή της τάσης του PV/T για κάθε μήνα



Διάγραμμα 5.16 : Σύγκριση ηλεκτρικών αποδόσεων PV και PV/T

Στο διάγραμμα 5.16 φαίνονται συγκριτικά οι αποδόσεις του φωτοβολταϊκού συλλέκτη που είναι τα σημεία με το ροζ χρώμα και τα σημεία με το μπλέ χρώμα αναφέρονται στο φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη. Οι τιμές αυτές είναι σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουν γίνει και παρατηρούμε πως η αποδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη είναι 1 με 1,5 % πιο υψηλή, αλλά πιο αναλυτικά στα παρακάτω διαγράμματα των μετρήσεων.

Και στο διάγραμμα 5.15 είναι οι τιμές της τάσης σε Volt ανα μήνα, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουν γίνει από τους ανωτέρω τύπους λόγω της εξάρτησης της από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού.

5.3.2. Διαγράμματα των μετρήσεων χωρίς την παροχή νερού.

Στον πίνακα 1 του παραρτήματος φαίνονται τα οι μετρήσεις που έγιναν και το αποτέλεσμα αυτών στα διαγράμματα που ακολουθούν. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις έγιναν τις ώρες από τη μία το μεσημέρι έως και τις 2.30 σε τακτά χρονικά διαστήματα μέχρις ότου καταγραφεί η υψηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να αναπτυχθεί στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, έτσι ώστε να φανεί η μείωση της απόδοσης και να μπορεί να συγκριθεί με τις υπολοιπες μετρήσεις.

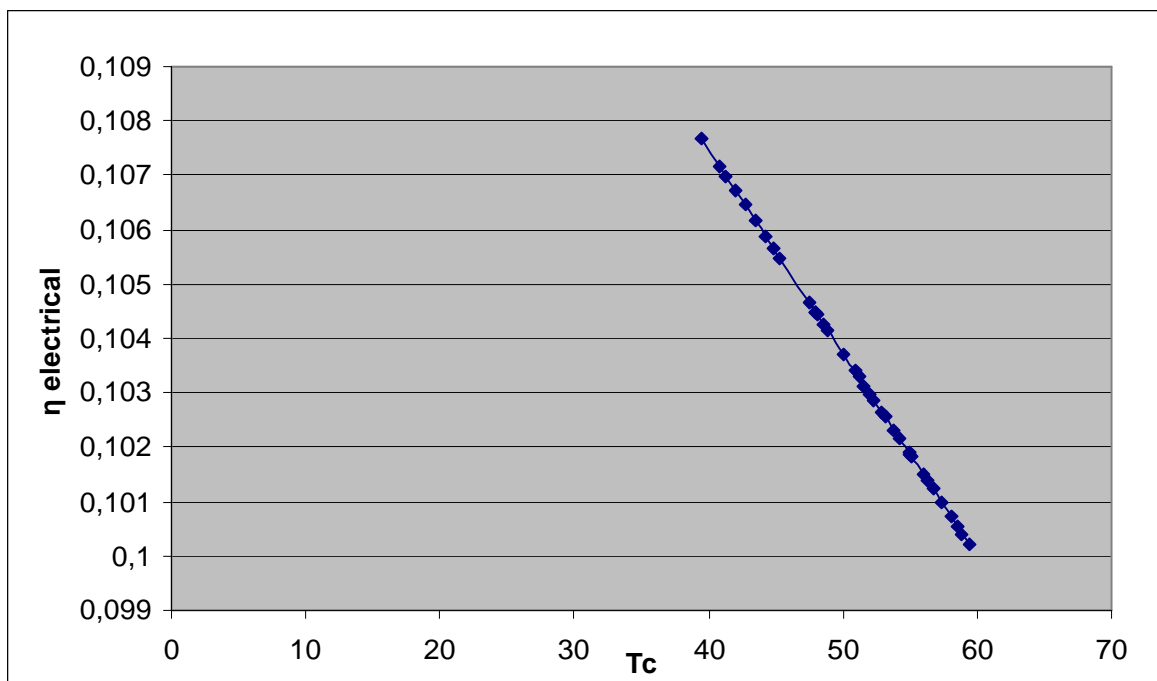
Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 31°C και το φωτοβολταϊκό ήταν προσανατολισμένο στον Νότο. Με το θερμόμετρο επαφής που έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού μετρήθηκε η θερμοκρασία T_c και με ένα πολύμετρο η τάση και το ρεύμα στη έξοδο του φωτοβολταϊκού.

Στον παρακάτω πίνακα είναι οι μετρήσεις που λήφθηκαν κατά την διάρκεια μιας μέρας είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές και για τον λόγο αυτό τα διαγράμματα έγιναν βάση αυτών.

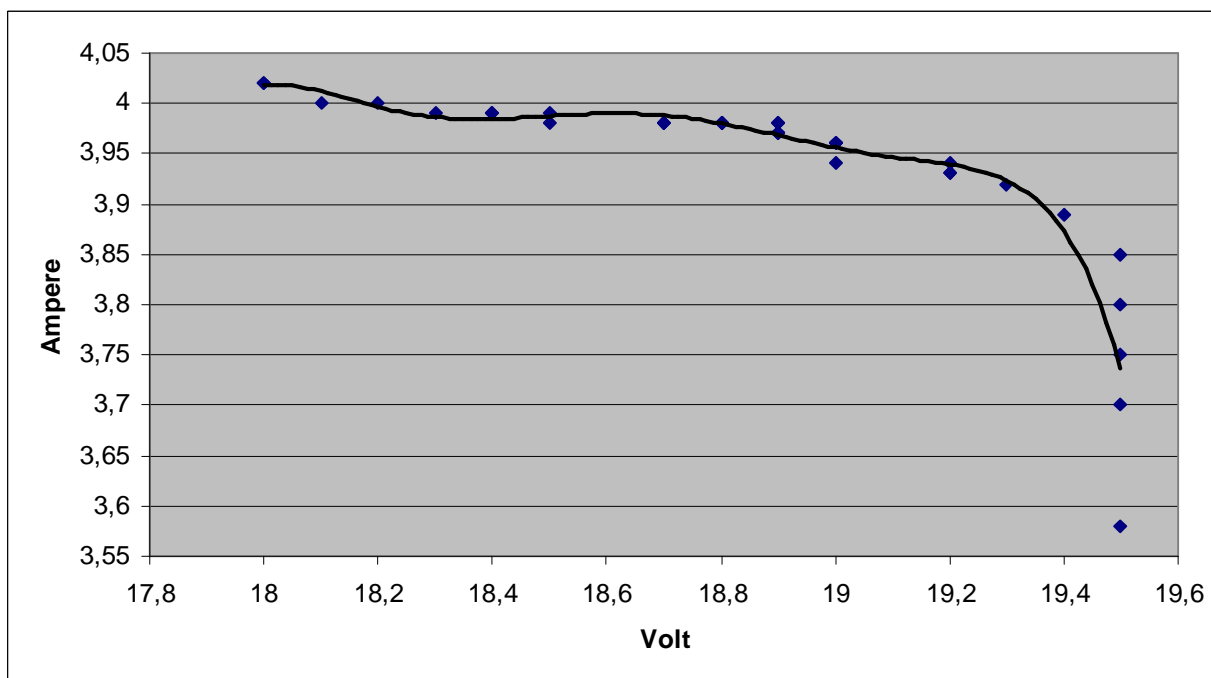
Παρατηρούμε την αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη, από τους 39,4 °C που ξεκινούν οι μετρήσεις φθάνει έως και 59,4 °C, ενώ η τάση που μετρήθηκε στην έξοδο του φωτοβολταϊκού ξεκινά από 19,5 Volt και έχει μια πτώση έως τα 18 Volt. Η

ηλεκτρική απόδοση του φωτοβολταϊκού υπολογίστηκε για κάθε τιμή της θερμοκρασίας και ξεκινάει από $\eta_{el} = 0,1076$ και καταλήγει $\eta_{el} = 0,100$

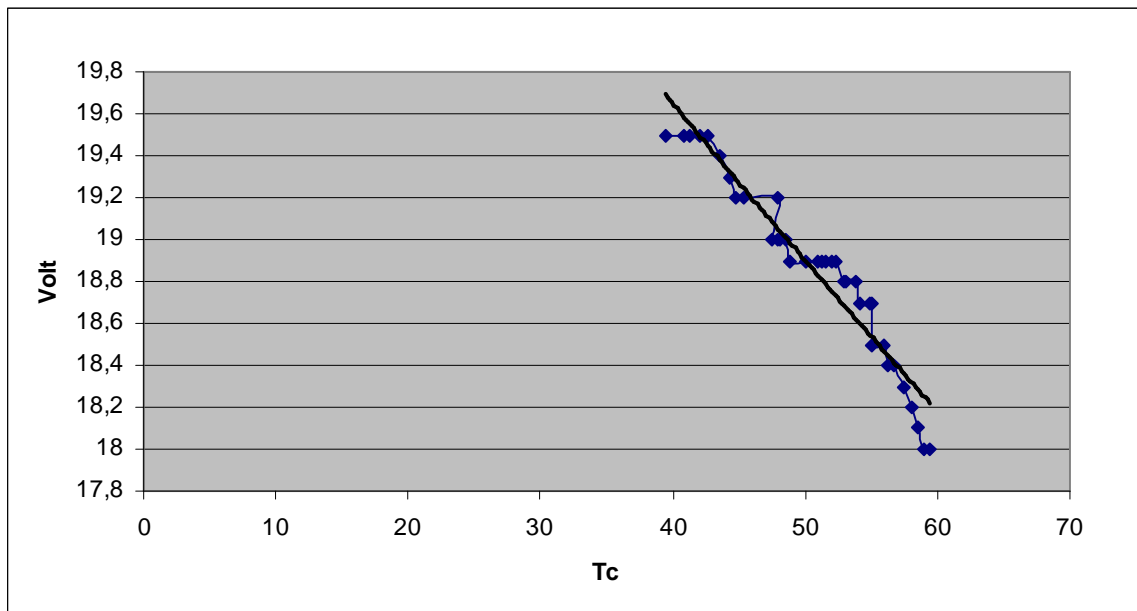
Η μείωση της απόδοσης είναι αισθητή όπου μέσα σε 2 ώρες η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ η μείωση της τάσης ήταν $1,5\text{ Volt}$ και της απόδοσης $7,6\%$



Διάγραμμα 5.17 : Η ηλεκτρική απόδοση συναρτήση της θερμοκρασίας T_c



Διάγραμμα 5.18 : Η καμπύλη (i, V)



Διάγραμμα 5.19 : Η τάση συνάρτηση της θερμοκρασίας

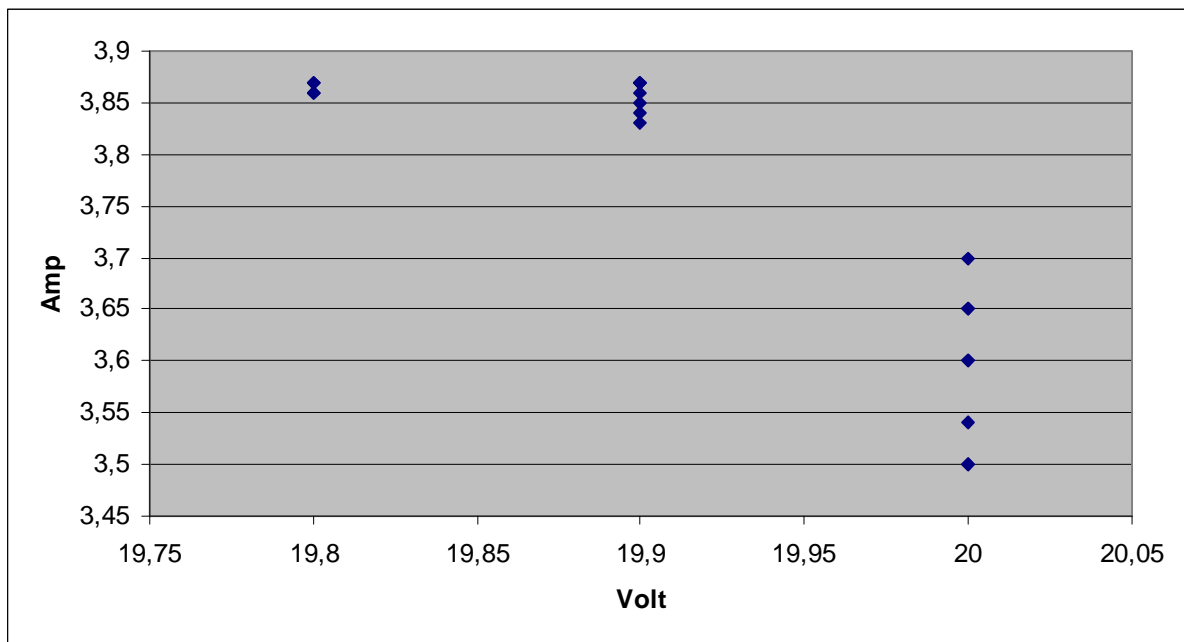
5.3.3 Διαγράμματα μετρήσεων με παροχή νερού στον συλλέκτη.

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν από τη μία το έως και τις τρεις περίπου με θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_a = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του συλλέκτη $21 \text{ }^\circ\text{C}$. εκτός από τους παρακάτω πίνακες υπήρχαν και άλλες μετρήσεις αλλά αυτές είναι με το μεγαλύτερο εύρος ετσι ώστε να βγούν συμπεράσματα.

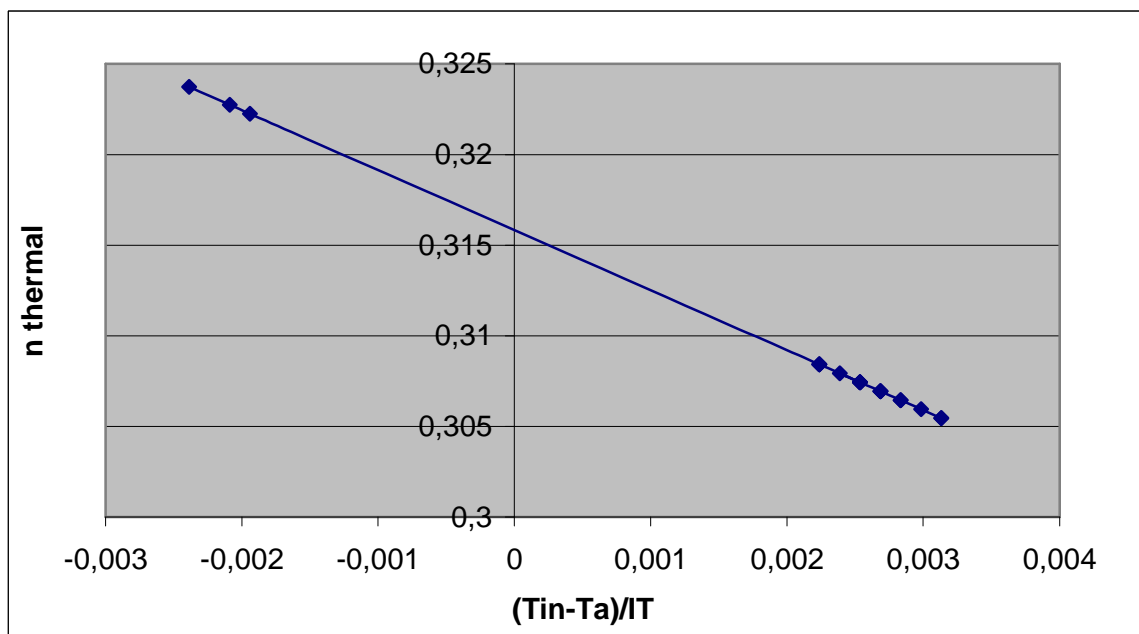
Η διαδικασία ήταν η εξής, διοχέτευση νερού στο δοχείο από το δίκτυο ετσι ώστε να έχει χαμηλή θερμοκρασία όπως άλλωστε γίνεται και στους ηλιακούς συλλέκτες, αφού η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είχε αναπτύξει θερμοκρασία και ενώ το δοχείο είχε γεμίσει μπαίνει σε λειτουργία η αντλία για να κυκλοφορήσει το νερό στο σύστημα, η εισαγωγή του νερού γίνεται από το κάτω μέρος του συλλέκτη όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3 και η έξοδος του νερού από το πάνω μέρος όπου και μετράμε την θερμοκρασία του. Το νερό δεν επιστρέφει πάλι στο δοχείο για να μην αυξάνεται η θερμοκρασία του καθώς θέλουμε η είσοδος του στο συλλέκτη να είναι 20 με $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ετσι ώστε να δούμε κατά πόσο μπορεί να συζηθεί η ηλεκτρική του απόδοση.

Από τους παρακάτω υπολογισμούς και διαγράμματα παρατηρούμε πως ενώ η θερμοκρασία της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού αρχικά κυμαίνεται στους 49 με $46 \text{ }^\circ\text{C}$ μετά από λίγη ώρα με την παροχή νερού στις σωληνώσεις του συλλέκτη μπορεί να πέσει η θερμοκρασία έως και 4 με $6 \text{ }^\circ\text{C}$ ενώ η θερμοκρασία εξόδου του νερού κυμαίνεται στους 32 με $33 \text{ }^\circ\text{C}$ αυτό μας δίνει μια θερμική απόδοση της τάξης 30 με 32% ενώ η ηλεκτρική απόδοση βλέπουμε πως μένει σταθερή σε μία τιμή αντιθέτως με το προηγούμενο παράδειγμα όπου η απόδοση έπεφτε κατακόρυφα και με την πάροδο της ώρας, καθώς πέφτει και η θερμοκρασία T_c αυξάνετε, η τιμές της ηλεκτρικής απόδοσης κυμαίνονται στο $10,5$ με $10,6\%$. Όπως επίσης και οι τιμές της τάσης δεν είναι τόσο χαμηλές όσο στις προηγούμενες μετρήσεις όπου είχε φθάσει 18 Volt εδώ βλέπουμε πως η τάση παίρνει τιμές από $19,8 \text{ Volt}$ έως 20 Volt .

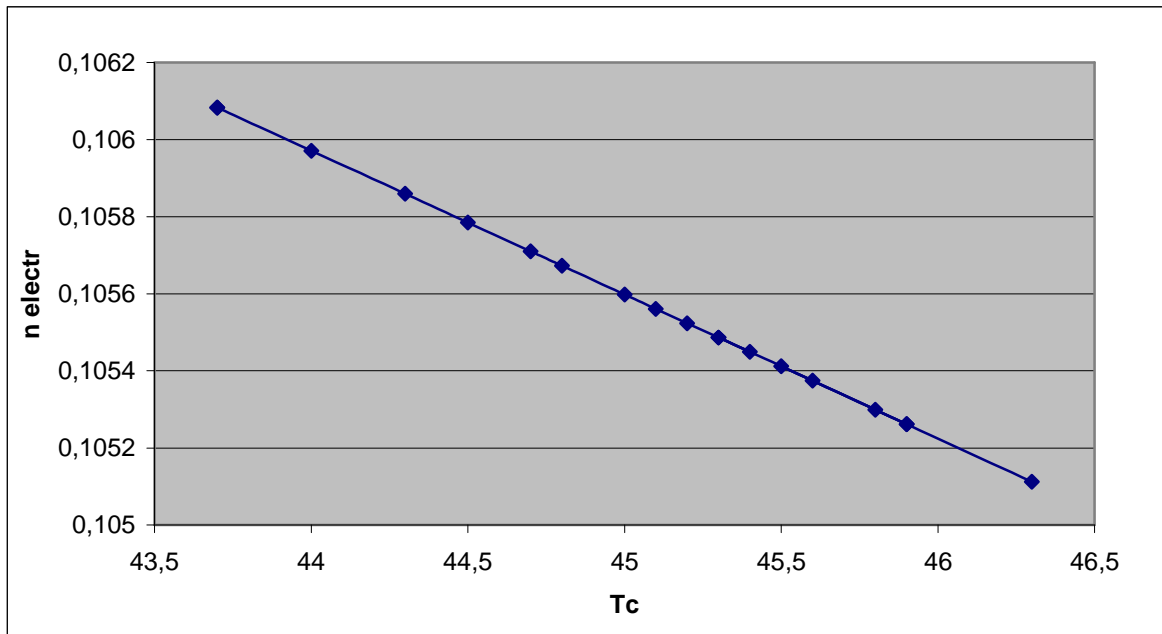
Για τον πίνακα 2 του παραρτήματος έχουμε :



Διάγραμμα 5.20 : Διάγραμμα (i,V) βάση των παραπάνω μετρήσεων.

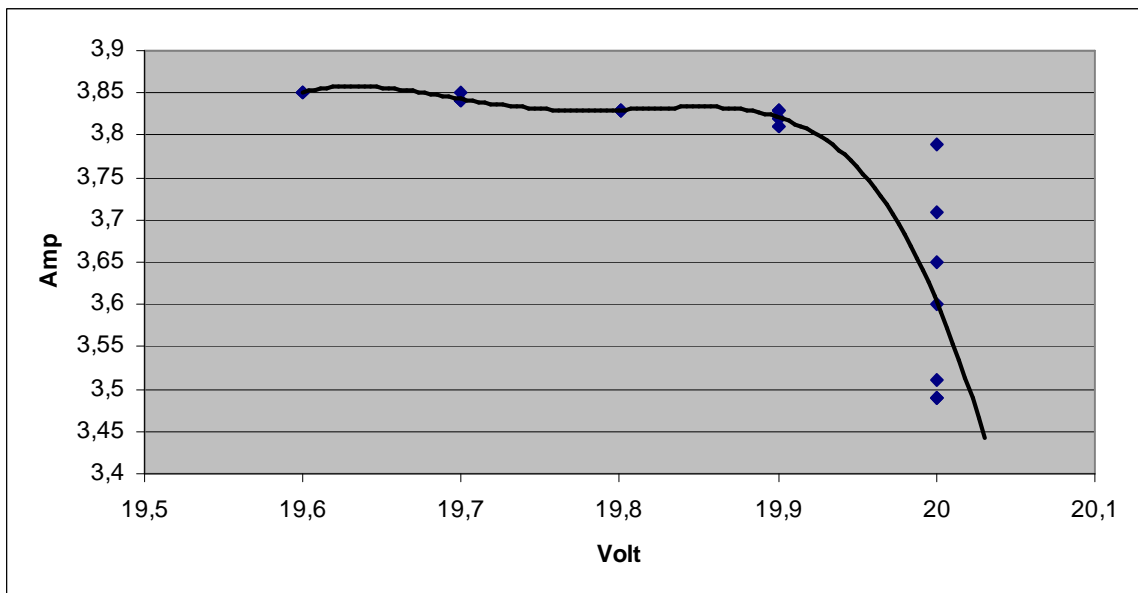


Διάγραμμα 5.21 : Διάγραμμα της θερμικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων

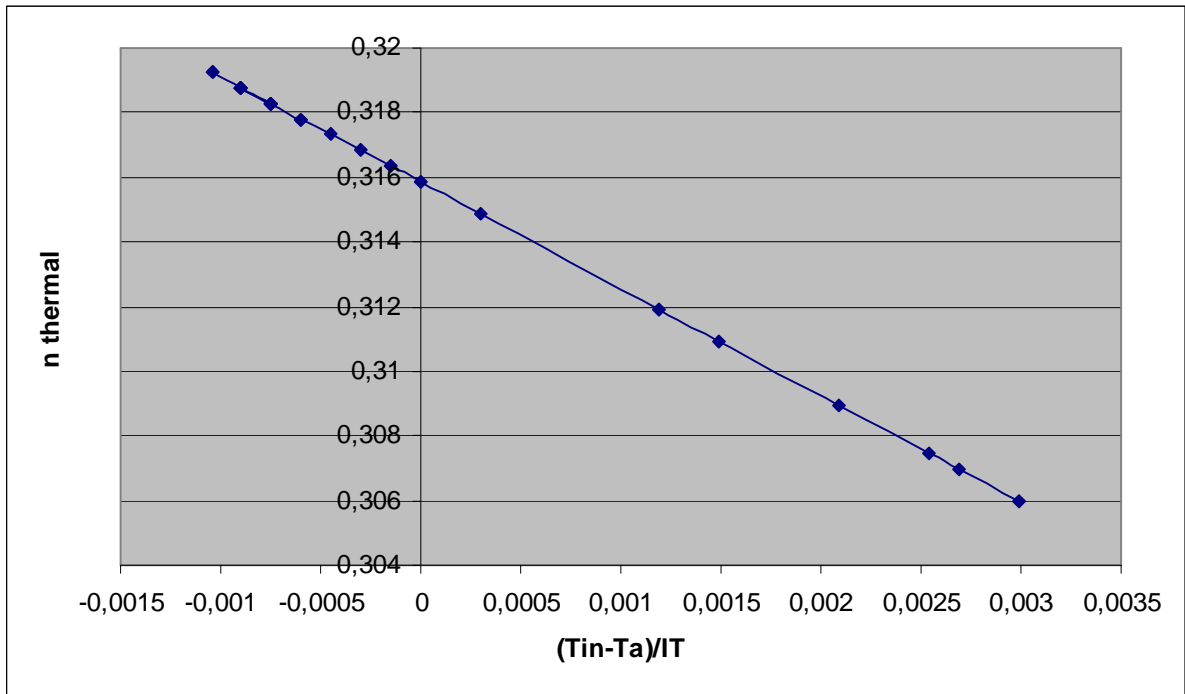


Διάγραμμα 5.22 : Διάγραμμα της ηλεκτρικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων

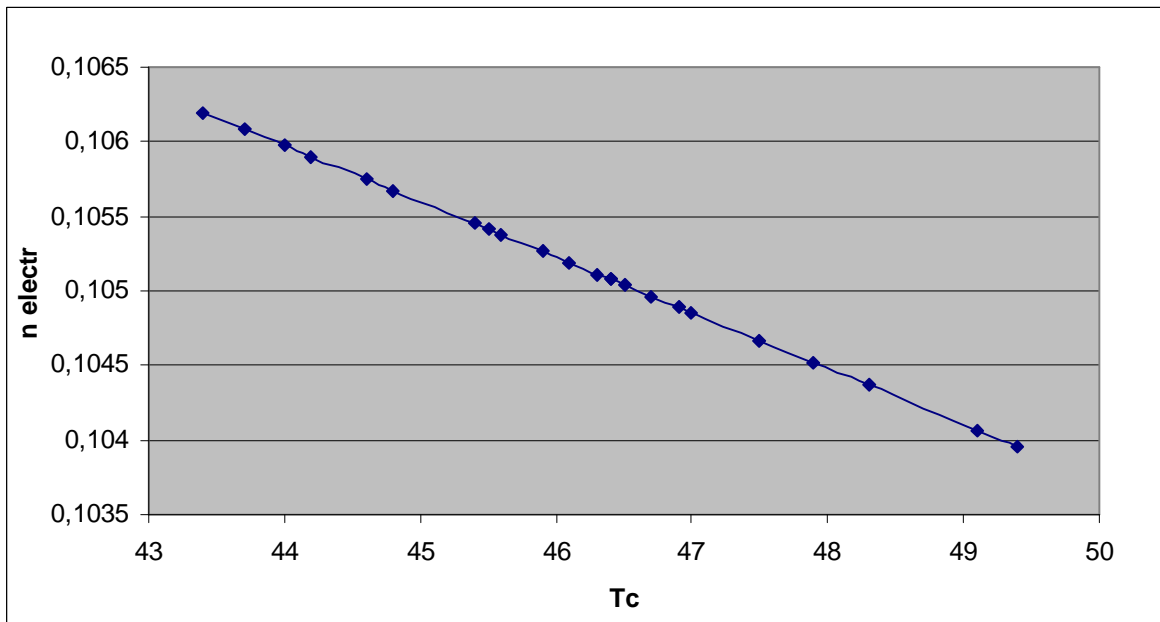
Για τον πίνακα 3 του παραρτήματος έχουμε :



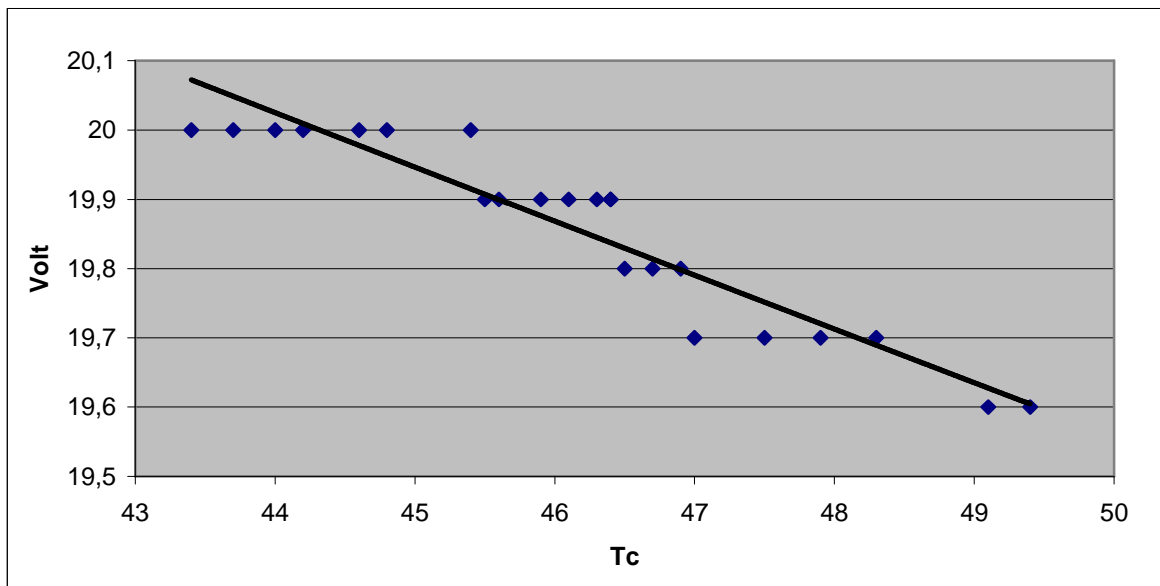
Διάγραμμα 5.23 : Διάγραμμα (i,V) βάση των παραπάνω μετρήσεων



Διάγραμμα 5.24 : Διάγραμμα της θερμικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων



Διάγραμμα 5.25 : Διάγραμμα της ηλεκτρικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων



Διάγραμμα 5.26 : Η τάση συνάρτηση της θερμοκρασίας

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε και πάλι πως η τάση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη δεν είναι τόσο χαμηλή όσο ήταν στις μετρήσεις χωρίς νερό, για παράδειγμα η τάση μέχρι τους 45 ° C βλέπουμε ότι παραμένει στα 20 Volt αντιθέτως στις μετρήσεις που δεν έχουμε νερό στον συλλέκτη η τάση έχει φτάσει τα 19,2 Volt.

Η ηλεκτρική του απόδοση κυμαίνεται από 10,4 έως και 10,6% το ίδιο και με τον προηγούμενο πίνακα μετρήσεων με νερό.

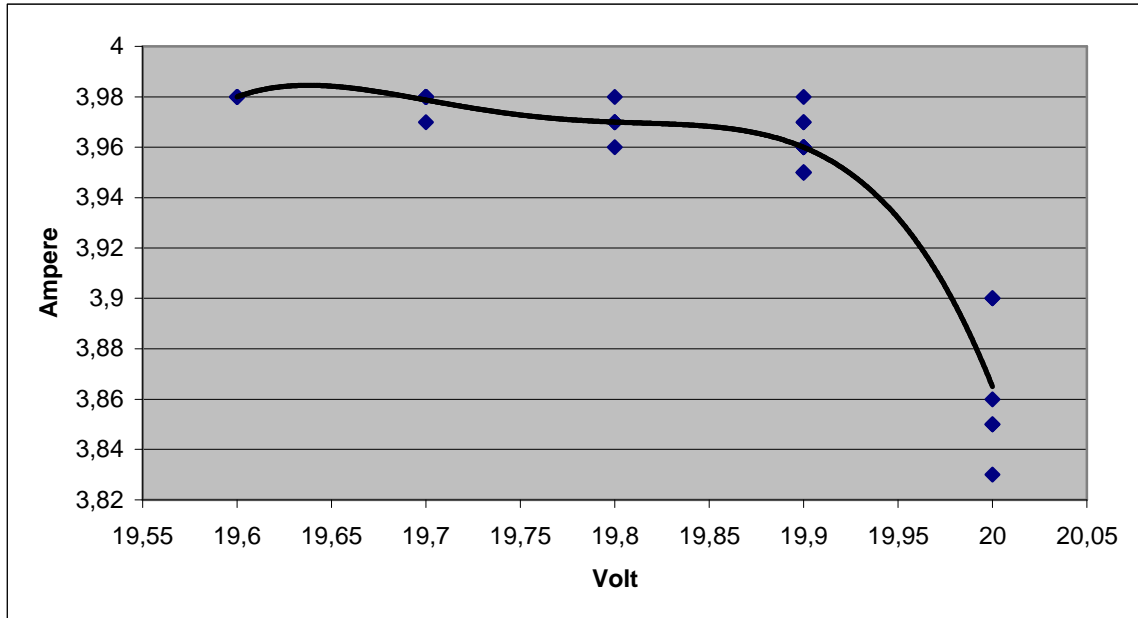
5.3.4 Διαγράμματα μετρήσεων με παροχή νερού στον συλλέκτη από την αρχή που μπαίνει σε λειτουργία.

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν από τη μία το έως και τις τρεις περίπου το μεσημέρι με θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a 31 με 32 °C και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του συλλέκτη 21,5 °C . εκτός από τους παρακάτω πίνακες υπήρχαν και άλλες μετρήσεις αλλά αυτές είναι με το μεγαλύτερο εύρος ετσι ώστε να βγούν συμπεράσματα. Οι τιμές βρίσκονται στον πίνακα 5 του παραρτήματος.

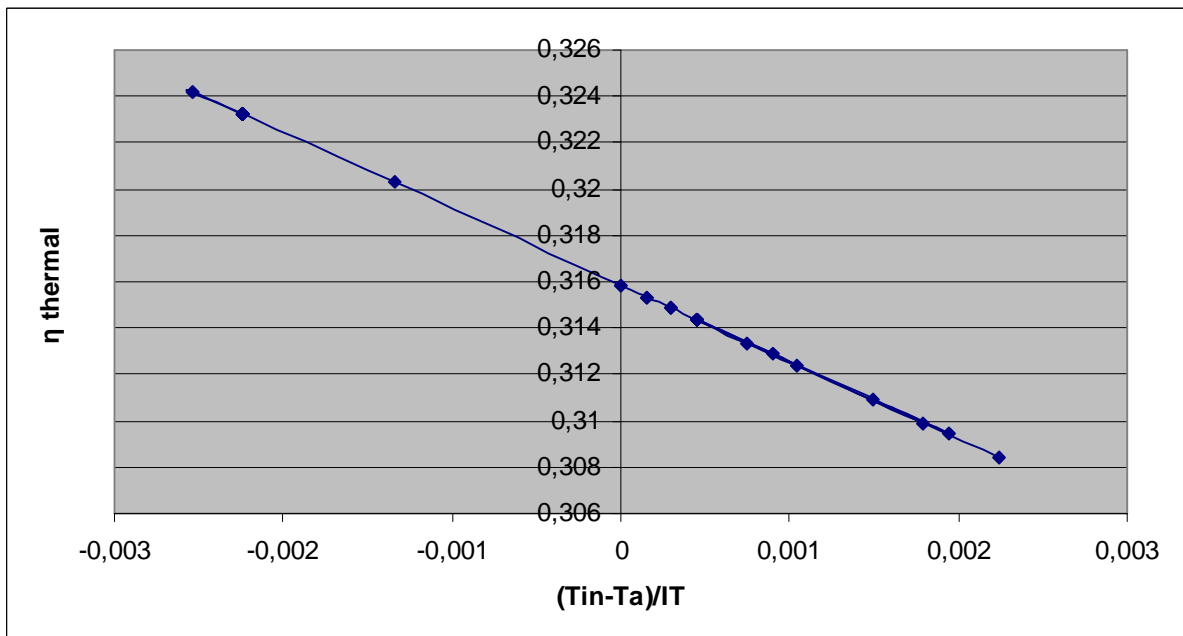
Η διαδικασία ήταν η εξής, ενώ το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο είχε τοποθετηθεί σε κλίση 40° και με προσανατολισμό στον Νότο όπου και με αυτά τα στοιχεία είχαν γίνει οι παραπάνω υπολογισμοί, γέμισα το δοχείο 40 λίτρων με νερό από το δίκτυο του οποίου η θερμοκρασία μετρήθηκε πως ήταν 21,5 °C και έβαλα σε λειτουργία την αντλία για να περνάει το νερό στις σωλήνες του κυκλώματος του συλλέκτη. Το νερό και σε αυτή την περίπτωση δεν επέστρεφε στο δοχείο για τον λόγο, να μην αυξάνεται η θερμοκρασία εισόδου. Οι μετρήσεις που πήρα ήταν σε τακτά χρονικά διαστήματα ετσι ώστε να καταγραφεί η αλλαγή της τιμής της θερμοκρασίας αλλά και της τάσης. Οι μετρήσεις που πήρα ήταν η θερμοκρασία στην έξοδο του νερού $T_{νερού}$, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού-θερμικού πάνελ T_c , η τάση και το ρεύμα στην έξοδο του φωτοβολταϊκού.

Από τους παρακάτω υπολογισμούς και διαγράμματα παρατηρούμε πως ενώ η θερμοκρασία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού ανεβαίνει καταρχάς δεν φτάνει στους 59 °C που είχε φτάσει χωρίς νερό, αλλά δέκα βαθμούς πιο κάτω και η ηλεκτρική απόδοση του φωτοβολταϊκού από 10,7% φτάνει στο 10,3% δεν πέφτει τόσο απότομα όσο όταν δεν υπήρχε η παροχή νερού όπου από 10,7%

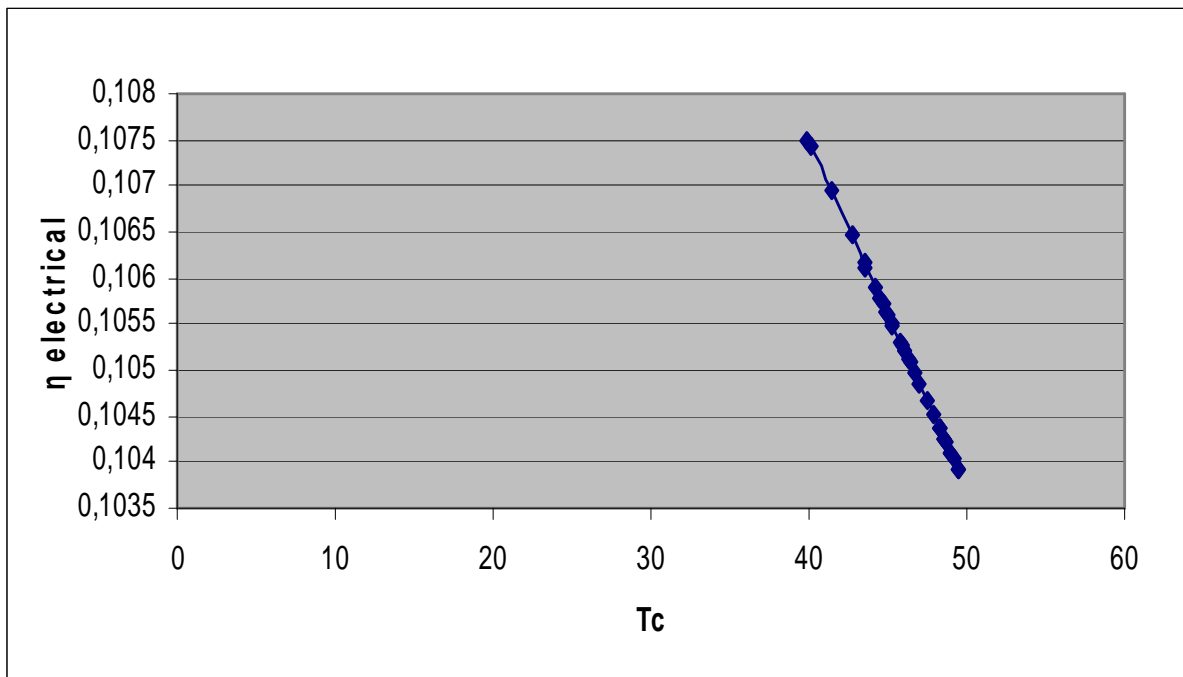
έφτασε 10% με αύξηση της θερμοκρασίας 20 °C αλλά και η τάση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού στην ανώτερη θερμοκρασία των παρακάτω μετρήσεων είναι για 49,5 °C έχουμε 19,6 Volt ενώ αντίστοιχα στους 50 °C χωρίς νερό η τάση που είχαμε ήταν 18,9 volt. Επίσης η θερμική απόδοση που έχουμε κυμαίνεται από 31 με 32%, είναι ικανοποιητική δεδομένης της μικρής επιφάνειας που έχει το φωτοβολταϊκό 0,6324 m²



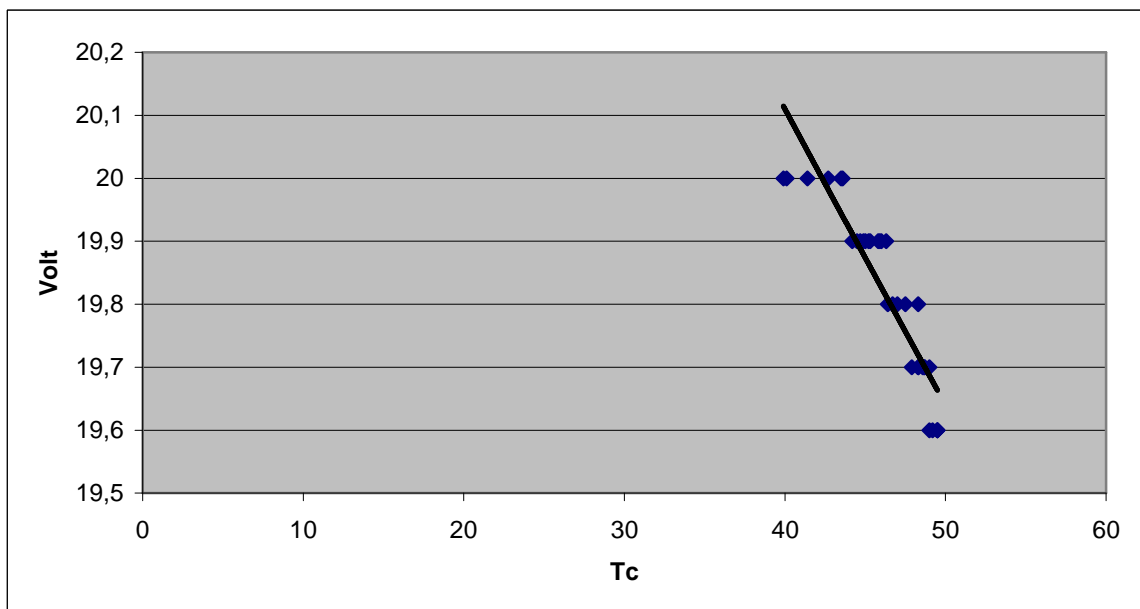
Διάγραμμα 5.27 : Η καμπύλη (i,V)



Διάγραμμα 5.28 : Διάγραμμα της θερμικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων



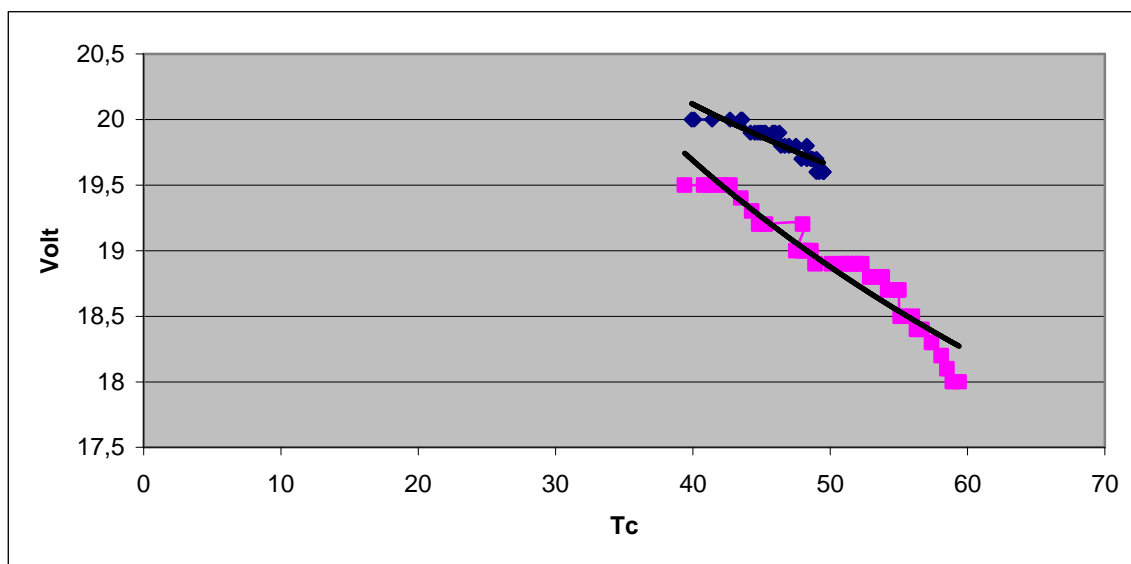
Διάγραμμα 5.29 : Διάγραμμα της ηλεκτρικής απόδοσης βάση των παραπάνω μετρήσεων



Διάγραμμα 5.30 : Η τάση συνάρτηση της θερμοκρασίας

5.3.5 Συμπεράσματα και συγκρίσεις από τις μετρήσεις και τα διαγράμματα τους.

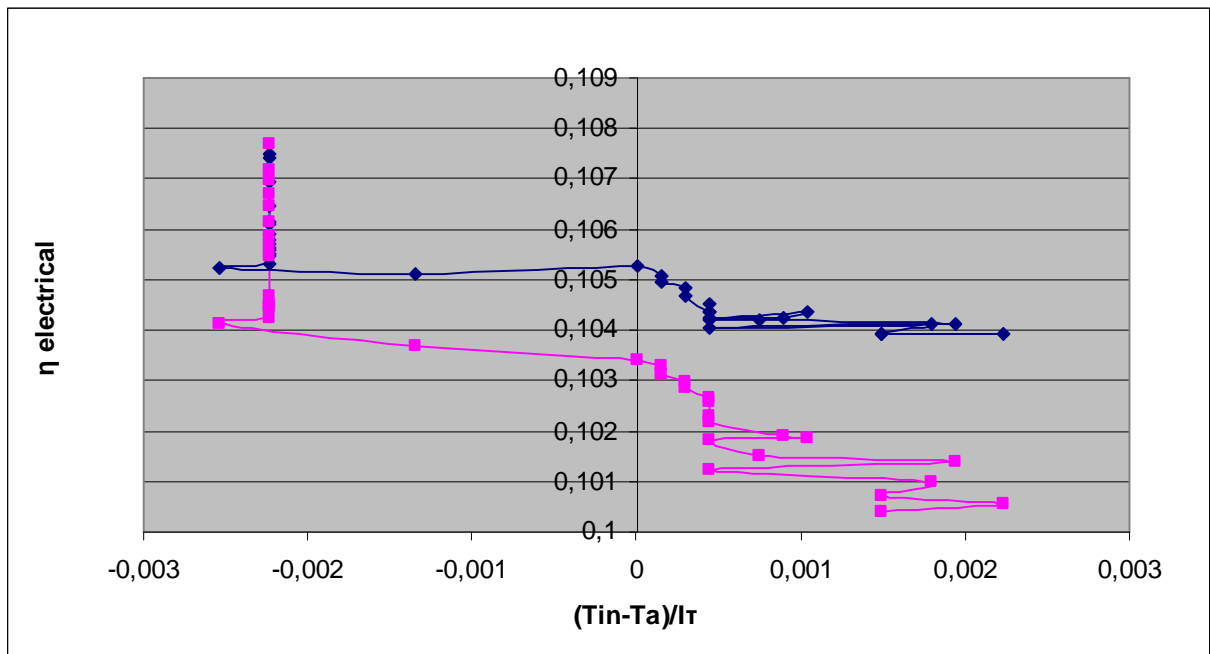
Από τα παραπάνω διαγράμματα των μετρήσεων που έγιναν μπορούμε να συμπεράνουμε τα παρακάτω. Τα διαγράμματα που ακολουθούν έχουν γίνει για να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων πιο εύκολα. Αρχικά θα συγκριθεί η τάση στην έξοδο που είχε το φωτοβολταϊκό με και χωρίς νερό έτσι ώστε να δούμε σε τι τιμές κυμαίνετε.



Διάγραμμα 5.31 : Σύγκριση της τάσης του φωτοβολταϊκού-θερμικού πάνελ και του απλού φωτοβολταϊκού

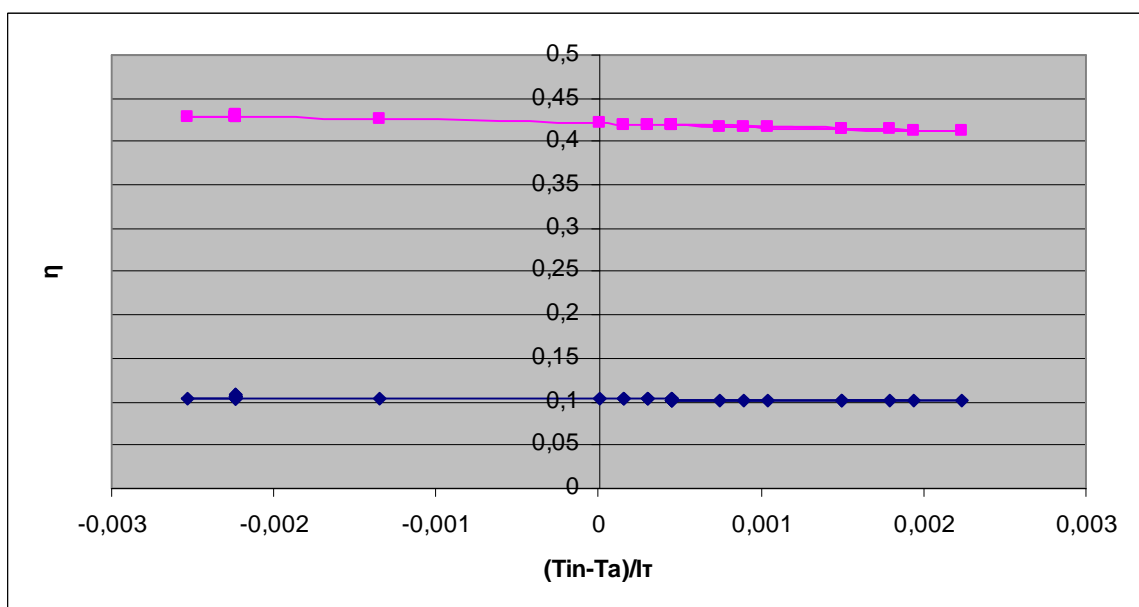
Τα ροζ σημεία στο παραπάνω διάγραμμα αναφέρονται στο φωτοβολταϊκό συλλέκτη και τα μπλέ σημεία στο φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη. Παρατηρούμε την απότομη πτώση της τάσης στο φωτοβολταϊκό με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας που φθάνει έως και τους 60 °C . Εκτός αυτού για την ίδια θερμοκρασία βλέπουμε πως στο φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη έχουμε μεγαλύτερη τάση, για παράδειγμα στους 50 °C το φωτοβολταϊκό έχει τάση 18.9 Volt ενώ στον φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη έχουμε τάση 19,6 Volt.

Παρακάτω γίνεται η σύγκριση των ηλεκτρικών απόδόσεων αλλά και της συνολικής απόδοσης που έχει το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο.



Διάγραμμα 5.32 : Σύγκριση της ηλεκτρικής απόδοσης του PV με του PVT

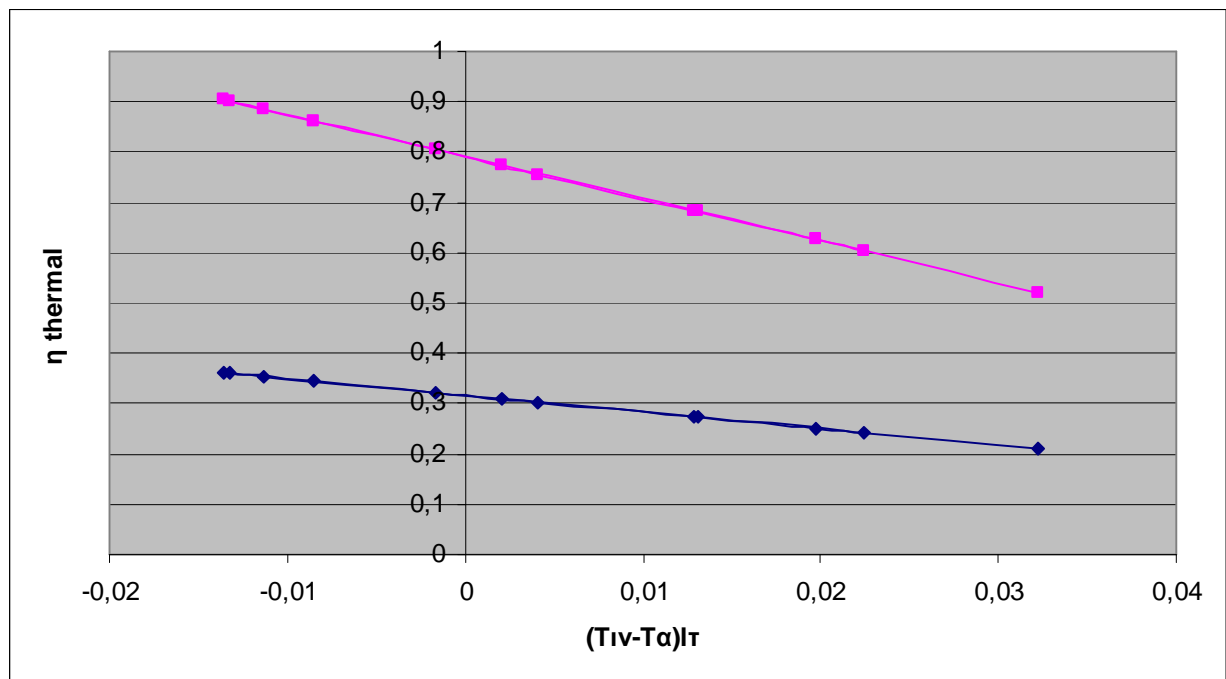
Στο παραπάνω διάγραμμα τα σημεία με το ρόζ χρώμα αναφέρονται στις τιμές της ηλεκτρικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου ενώ τα σημεία με το μπλέ χρώμα είναι οι τιμές της ηλεκτρικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη. Οι παραπάνω τιμές βρίσκονται στους **πίνακες 7,9** του παραρτήματος. Οι τιμές της ηλεκτρικής απόδοσης του PVT είναι βάση των μετρήσεων που πήρα καθώς έβαλα σε λειτουργία το σύστημα όλο μαζί, δηλαδή ξεκίνησα την διοχέτευση νερού στο σύστημα αμέσως όταν το τοποθέτησα στον ήλιο. Από το πίνακα 5 μπορούμε να δούμε πως η τιμή της απόδοσης κυμαίνεται από 10,7% έως 10,4% καθώς η θερμοκρασία στην επιφάνεια του δεν αυξάνεται τόσο απότομα έχοντας επίσης τάση στην έξοδο από 20Volt έως και 19,6 Volt ενώ αν δουμε στον πίνακα 1 η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού έχει αυξηθεί 20°C με μείωση της απόδοσης του από 10,7% σε 10% και η τιμή της τάσης από 19,5 Volt σε 18 Volt.



Διάγραμμα 5.33 : Της συνολικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου σε σύγκριση με την ηλεκτρική απόδοση του φωτοβολταϊκού

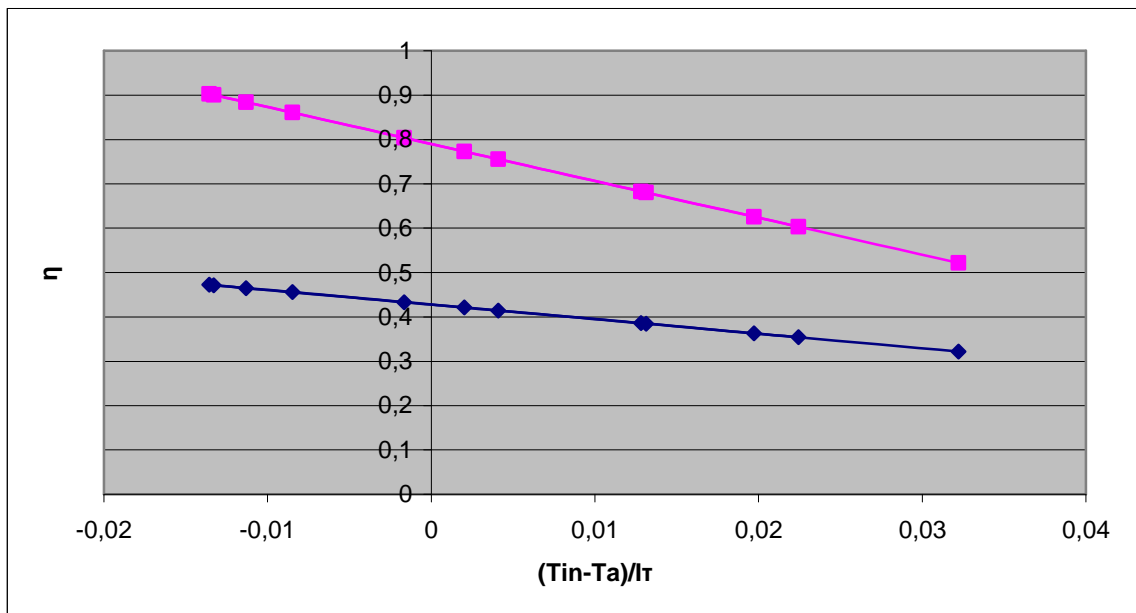
Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την σύγκριση της ηλεκτρικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την συνολική απόδοση που έχουμε στον φωτοβολταϊκό-θερμικό συλλέκτη. Αυτές οι τιμές στο διάγραμμα αφορούν τις μετρήσεις που έχουν γίνει και βρίσκονται στο παράρτημα, **είναι οι πίνακες 7, 4**

Παρατηρούμε πως η απόδοση του φωτοβολταϊκού την μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 10,7% με τιμή της τάσης 19,5 Volt ενώ αν λειτουργήσει ως φωτοβολταϊκό-θερμικό πάνελ η συνολική του απόδοση φτάνει 43% και έχουμε και αύξηση της τιμής της τάσης που οι τιμές της κυμαίνονται από 20 έως 19,6 Volt.



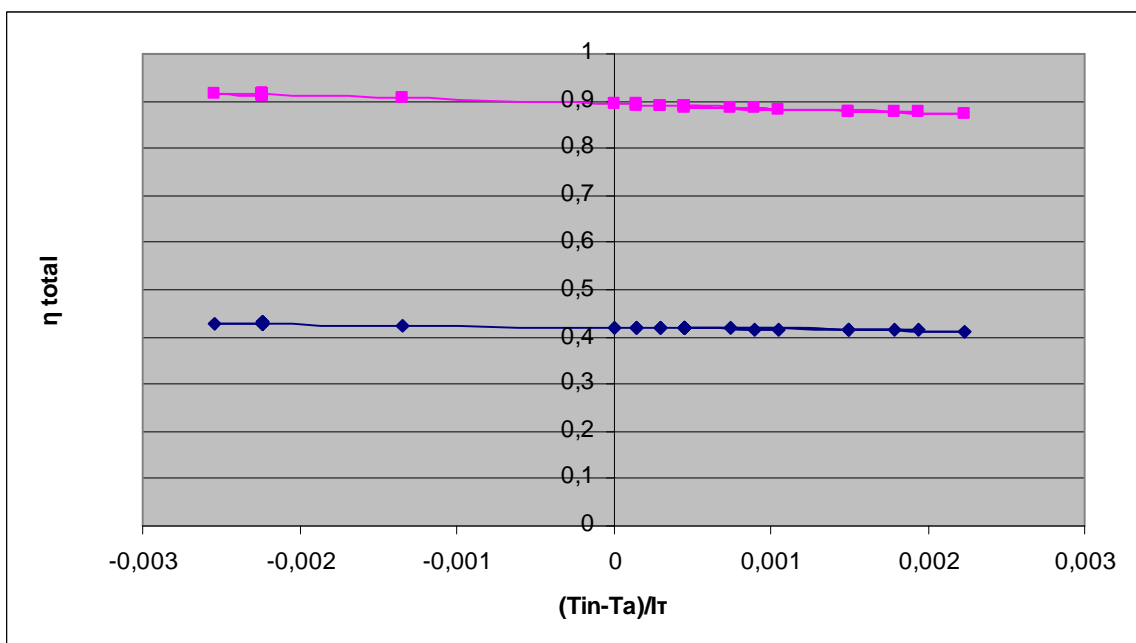
Διάγραμμα 5.34 : Η θερμική απόδοση του ηλιακού συλλέκτη με το ροζ χρώμα και του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη με το μπλε χρώμα

Στο παραπάνω διάγραμμα συγκρίνονται οι θερμικές αποδόσεις του ηλιακού συλλέκτη και του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη. Η διαφορά στις δύο καμπύλες οφείλεται στους διαφορετικούς συντελεστές θερμικής απολαβής δεν πάβει όμως το φωτοβολταϊκό-θερμικό πάνελ να προσφέρει ικανό ποσό θερμότητας που η αποδοσή του ως συλλέκτης φτάνει στο 35 % αν σκεφτούμε ότι ταυτόχρονα αποδίδει και ηλεκτρική ενέργεια. Οι παραπάνω τιμές είναι βάση των υπολογισμών που έχουν γίνει και βρίσκονται στο παράρτημα οι **πίνακες 8,9**.



Διάγραμμα 5.35 : Η θερμική απόδοση του ηλιακού συλλέκτη με το ροζ χρώμα και με το μπλε χρώμα η συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη.

Το παραπάνω διάγραμμα αναφέρεται στις τιμές βάση των υπολογισμών για όλο τον χρόνο. Η συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη είναι 47% όπου αποδίδει και θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Η αποδοσή του σαν φωτοβολταϊκο πανελ εφτανε στο 10,6% το περισσότερο τον μήνα Δεκέμβριο με την τοποθέσηση όμως των σωλήνων για την διοχέτευση νερού η ηλεκτρική του απόδοση έφτασε 11,29% οπότε υπάρχει κέρδος.



Διάγραμμα 5.36 : Διάγραμμα συνολικών αποδόσεων του PV/T και PV+ηλιακού για Ιούνιο

Στο παραπάνω διάγραμμα τα μπλέ σημεία είναι η συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη δηλαδή η ηλεκτρική και θερμική απόδοση

που έχει βάση των μετρήσεων. Οι τιμές βρίσκονται στο παράρτημα στον **πίνακα 4**.

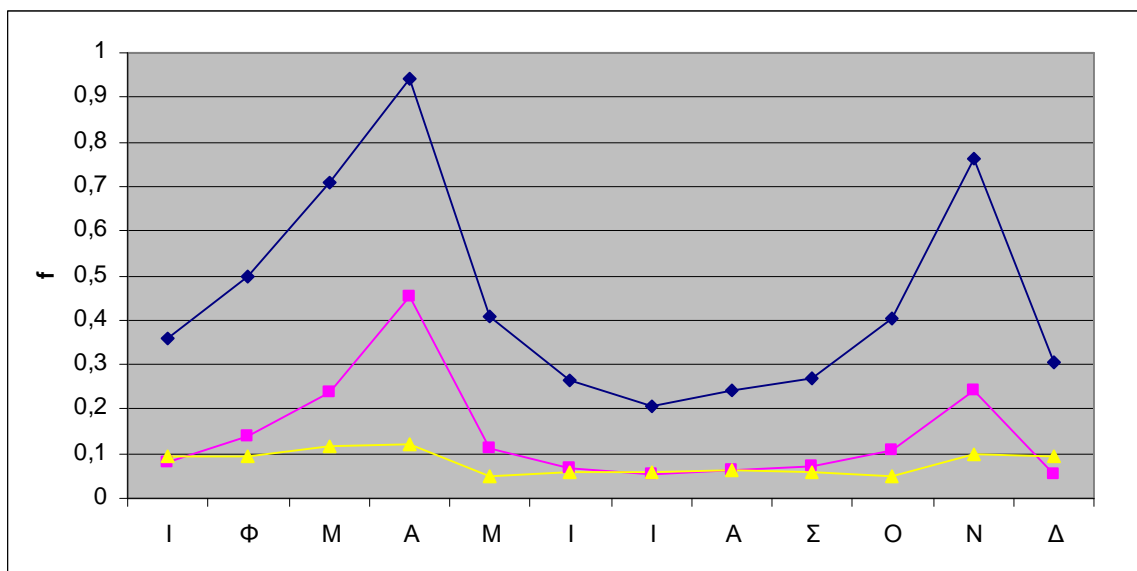
Τα ροζ σημεία είναι το άθροισμα της θερμικής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη (είναι ο συλλέκτης του εμπορίου του οποίου τα χαρακτηριστικά έχουν αναφερθεί παραπάνω και έχει υπολογιστεί η μηνιαία κάλυψη και απόδοσή του, οι πίνακες βρίσκονται στο παράρτημα) και της ηλεκτρικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η θερμική απόδοση του ηλιακού συλλέκτη είναι υπολογισμένη για $A_c=2m^2$ και $F_R U_L=8,33$ και $F_R(\tau_a) = 0,79$ όπου αυτά είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη από τον κατασκευαστή. Η θερμική του απόδοση υπολογίστηκε για τον μήνα Ιούνιο με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας $677,35Mj/m^2$ στο κεκλιμένο επίπεδο 40° και για θερμοκρασίες βάση των μετρήσεων.

Το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο παρατηρούμε πως έχει συνολική απόδοση $\eta_{total}= 43\%$ που είναι το άθροισμα της θερμικής και ηλεκτρικής του απόδοσης. Η συνολική απόδοση του ηλιακού+PV είναι το άθροισμα των αποδόσεων του ηλιακού συλλέκτη και του φωτοβολταϊκού $\eta_{total}= 90\%$. Η διαφορά τους δηλαδή κυμαίνεται στο 47%.

Από τις τιμές του πίνακα όπου οι αποδόσεις φαίνονται και πιο αναλυτικά μπορούμε να δούμε για το ίδιο σύνολο τιμών, πως για καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία η απόδοση του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη μειώνεται κατά 1,6% και η συνολική του ηλιακού+PV κατά 1,1%

Η απόδοση που έχει το φωτοβολταϊκό-θερμικό πλαίσιο είναι αρκετά ικανοποιητική δεδομένου της παλαιότητάς του αλλά και των χαμηλών συντελεστών με $F_R U_L=3,308$ και $F_R(\tau_a) = 0,315$ που έχει σε σύγκριση με του ηλιακού συλλέκτη που είναι υψηλών προδιαγραφών με $F_R U_L=8,33$ και $F_R(\tau_a) = 0,79$. Η διαφορά αυτή που υπάρχει στους συντελεστές οφείλεται και στο γεγονός πως στον τύπο για τον υπολογισμό του F_R περιλαμβάνεται και η επιφάνεια του συλλέκτη όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση το φωτοβολταϊκό που έχουμε έχει $A_c=0,6324 m^2$ ενώ η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη είναι $2m^2$.

Το τελευταίο συγκεντρωτικό διαγράμμα αφορά την μηνιαία κάλυψη του ηλιακού συλλέκτη, του φωτοβολταϊκού-θερμικού πλαισίου και του φωτοβολταϊκού.



Διάγραμμα 5.37 : Συνδιασμός των δύο διαγραμμάτων για την μηνιαία κάλυψη των συλλεκτών

Η ροζ γραμμή αντιπροσωπεύει τις τιμές του φωτοβολταϊκού-θερμικού συλλέκτη, η μπλέ γραμμή τις τιμές του ηλιακού συλλέκτη και τέλος η κίτρινη

γραμμή του φωτοβολταϊκού. Η καμπύλη του φωτοβολταϊκού-θερμικού πανελ έχει υψηλότερες τιμές για τον λόγο πως ο συλλέκτης αυτός λειτουργεί και ως ηλιακός συλλέκτης, όπως επίσης στους υπολογισμούς και στην κατασκευή που έγινε έχει τοποθετηθεί και μόνωση όπου αυτό βοηθά στην αύξηση της απόδοσής του σε σύγκριση με την καμπύλη του απλού φωτοβολταϊκού. Στην καμπύλη του απλού φωτοβολταϊκού είναι υπολογισμένη η ηλεκτρική κάλυψη που μπορεί να έχει το φωτοβολταϊκό αλλά καθώς έχει πολλές απώλειες λόγω θερμοκρασίας βλέπουμε πως οι τιμές που έχει πάρει η καμπύλη είναι σαφώς μικρότερες. Τέλος η κάλυψη που έχουμε από τον ηλιακό συλλέκτη είναι πολύ υψηλή και οφείλεται στις υψηλές τιμές που έχουν οι θερμικοί συντελεστές του. Οι παραπάνω τιμές που έχουν υπολογιστεί βρίσκονται στο παράρτημα στους **πίνακες 6,7,8**.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1 : Μετρήσεις χωρίς την παροχή νερού

Tc	Volt	Amp	h_{el}
39,4	19,5	3,58	0,107687
40,8	19,5	3,7	0,107165
41,3	19,5	3,75	0,106979
42	19,5	3,8	0,106717
42,7	19,5	3,85	0,106456
43,5	19,4	3,89	0,106158
44,3	19,3	3,92	0,105859
44,8	19,2	3,93	0,105673
45,3	19,2	3,93	0,105486
48	19,2	3,94	0,104479
47,5	19	3,94	0,104665
48	19	3,96	0,104479
48,1	19	3,96	0,104441
48,6	19	3,96	0,104255
48,9	18,9	3,97	0,104143
50,1	18,9	3,97	0,103695
50,9	18,9	3,97	0,103397
51,2	18,9	3,97	0,103285
51,6	18,9	3,97	0,103136
52	18,9	3,98	0,102986
52,3	18,9	3,98	0,102874
52,9	18,8	3,98	0,102651
53,1	18,8	3,98	0,102576
53,8	18,8	3,98	0,102315
54,2	18,7	3,98	0,102166
54,9	18,7	3,98	0,101904
55	18,7	3,98	0,101867
55,1	18,5	3,98	0,10183
56	18,5	3,99	0,101494
56,3	18,4	3,99	0,101382
56,7	18,4	3,99	0,101233
57,4	18,3	3,99	0,100972
58,1	18,2	4	0,10071
58,5	18,1	4	0,100561
58,9	18	4,02	0,100412
59,4	18	4,02	0,100225

Πίνακας 2 : Πρώτος πίνακας με μετρήσεις με παροχή νερού εφόσον έχει αυξηθεί η θερμοκρασία στον συλλέκτη

Tc	Volt	Amp	T νερού	$(T_{in}-T_a)/I$	n therm	n electr
46,3	19,8	3,86	29,4	-0,00239	0,323731	0,105113
45,8	19,9	3,86	29,6	-0,00209	0,322744	0,1053
45,5	19,8	3,86	29,7	-0,00194	0,32225	0,105411
45,9	19,8	3,87	32,5	0,002239	0,308427	0,105262
45,9	19,8	3,87	32,5	0,002239	0,308427	0,105262
45,6	19,9	3,87	32,5	0,002239	0,308427	0,105374
45,3	19,9	3,85	32,7	0,002537	0,307439	0,105486
45,4	19,9	3,87	32,7	0,002537	0,307439	0,105449
45,3	19,9	3,87	32,6	0,002388	0,307933	0,105486
45,2	19,9	3,84	32,7	0,002537	0,307439	0,105523
45,1	19,9	3,83	32,7	0,002537	0,307439	0,105561
45	20	3,7	32,8	0,002687	0,306946	0,105598
44,8	20	3,65	32,8	0,002687	0,306946	0,105673
44,7	20	3,65	32,8	0,002687	0,306946	0,10571
44,5	20	3,6	32,9	0,002836	0,306452	0,105785
44,3	20	3,6	32,9	0,002836	0,306452	0,105859
44	20	3,54	33	0,002985	0,305958	0,105971
43,7	20	3,5	33,1	0,003134	0,305465	0,106083
43,7	20	3,5	33,1	0,003134	0,305465	0,106083

Πίνακας 3 : Δεύτερος πίνακας με μετρήσεις με παροχή νερού εφόσον έχει αυξηθεί η θερμοκρασία στον συλλέκτη

Tc	Volt	Amp	T νερού	$(T_{in}-T_a)/I$	n thermal	η electric
49,4	19,6	3,85	29,3	-0,00104	0,319288	0,103956
49,1	19,6	3,85	29,3	-0,00104	0,319288	0,104068
48,3	19,7	3,85	29,4	-0,0009	0,318794	0,104367
47,9	19,7	3,84	29,4	-0,0009	0,318794	0,104516
47,5	19,7	3,84	29,4	-0,0009	0,318794	0,104665
47	19,7	3,84	29,5	-0,00075	0,3183	0,104852
46,9	19,8	3,83	29,5	-0,00075	0,3183	0,104889
46,7	19,8	3,83	29,5	-0,00075	0,3183	0,104964
46,5	19,8	3,83	29,5	-0,00075	0,3183	0,105038
46,4	19,9	3,83	29,4	-0,0009	0,318794	0,105076
46,4	19,9	3,83	29,6	-0,0006	0,317807	0,105076
46,3	19,9	3,83	29,6	-0,0006	0,317807	0,105113
46,1	19,9	3,82	29,7	-0,00045	0,317313	0,105188
45,9	19,9	3,82	29,8	-0,0003	0,316819	0,105262
45,6	19,9	3,81	29,9	-0,00015	0,316326	0,105374
45,5	19,9	3,81	30	0	0,315832	0,105411
45,4	20	3,79	30,2	0,000299	0,314845	0,105449
44,8	20	3,71	30,8	0,001194	0,311883	0,105673
44,6	20	3,65	31	0,001493	0,310895	0,105747
44,2	20	3,6	31,4	0,00209	0,30892	0,105897
44	20	3,51	31,7	0,002537	0,307439	0,105971
43,7	20	3,49	31,8	0,002687	0,306946	0,106083
43,4	20	3,49	32	0,002985	0,305958	0,106195

Πίνακας 4 : Σύγκριση συνολικής απόδοσης PV+ηλιακό και PV/T

(Tin-Ta)/Ir	η electrical PV	η electric	η therm+elec PV/T	η thermal (ηλιακού)	η thermal(ηλιακού)+ electrical (PV)
-0,00224	0,107687	0,107501	0,430738	0,728477	0,836164
-0,00224	0,107165	0,107426	0,430664	0,728477	0,835642
-0,00224	0,106979	0,106941	0,430178	0,728477	0,835455
-0,00224	0,106717	0,106456	0,429693	0,728477	0,835194
-0,00224	0,106456	0,10612	0,429358	0,728477	0,834933
-0,00224	0,106158	0,106158	0,429395	0,728477	0,834635
-0,00224	0,105859	0,105897	0,429134	0,728477	0,834336
-0,00224	0,105673	0,105785	0,429022	0,728477	0,83415
-0,00224	0,105486	0,10571	0,428947	0,728477	0,833963
-0,00224	0,104479	0,105635	0,428873	0,728477	0,832956
-0,00224	0,104665	0,105523	0,428761	0,728477	0,833142
-0,00224	0,104479	0,105598	0,428835	0,728477	0,832956
-0,00224	0,104441	0,105486	0,428723	0,728477	0,832918
-0,00224	0,104255	0,1053	0,428537	0,728477	0,832732
-0,00254	0,104143	0,105225	0,42945	0,730964	0,835107
-0,00134	0,103695	0,105113	0,425388	0,721014	0,82471
0	0,103397	0,105262	0,421094	0,709821	0,813218
0,000149	0,103285	0,105076	0,420414	0,708577	0,811862
0,000149	0,103136	0,104964	0,420302	0,708577	0,811713
0,000299	0,102986	0,104852	0,419696	0,707333	0,81032
0,000299	0,102874	0,104665	0,41951	0,707333	0,810208
0,000448	0,102651	0,104367	0,418718	0,70609	0,80874
0,000448	0,102576	0,104516	0,418867	0,70609	0,808666
0,000448	0,102315	0,104367	0,418718	0,70609	0,808404
0,000448	0,102166	0,104255	0,418606	0,70609	0,808255
0,000896	0,101904	0,104255	0,417125	0,702359	0,804263
0,001045	0,101867	0,104367	0,416743	0,701115	0,802982
0,000448	0,10183	0,104218	0,418569	0,70609	0,807919
0,000746	0,101494	0,104218	0,417581	0,703602	0,805096
0,00194	0,101382	0,104106	0,41352	0,693652	0,795034
0,000448	0,101233	0,104031	0,418382	0,70609	0,807322
0,001791	0,100972	0,104106	0,414013	0,694896	0,795868
0,001493	0,10071	0,103919	0,414814	0,697384	0,798094
0,002239	0,100561	0,103919	0,412346	0,691165	0,791726
0,001493	0,100412	0,103919	0,414814	0,697384	0,797796

Πίνακας 5 : Μετρήσεις με παροχή νερού στον συλλέκτη από την αρχή που μπαίνει σε λειτουργία.

Tc	V	Ampere	T νερού	(Tin-Ta)/I	η thermal	η electric
39,9	20	3,83	28,5	-0,00224	0,323237	0,107501
40,1	20	3,85	28,5	-0,00224	0,323237	0,107426
41,4	20	3,85	28,5	-0,00224	0,323237	0,106941
42,7	20	3,86	28,5	-0,00224	0,323237	0,106456
43,6	20	3,9	28,5	-0,00224	0,323237	0,10612
43,5	20	3,9	28,5	-0,00224	0,323237	0,106158
44,2	19,9	3,95	28,5	-0,00224	0,323237	0,105897
44,5	19,9	3,95	28,5	-0,00224	0,323237	0,105785
44,7	19,9	3,95	28,5	-0,00224	0,323237	0,10571
44,9	19,9	3,95	28,5	-0,00224	0,323237	0,105635
45,2	19,9	3,97	28,5	-0,00224	0,323237	0,105523
45	19,9	3,96	28,5	-0,00224	0,323237	0,105598
45,3	19,9	3,96	28,5	-0,00224	0,323237	0,105486
45,8	19,9	3,96	28,5	-0,00224	0,323237	0,1053
46	19,9	3,97	28,3	-0,00254	0,324225	0,105225
46,3	19,9	3,98	29,1	-0,00134	0,320275	0,105113
45,9	19,9	3,96	30	0	0,315832	0,105262
46,4	19,8	3,96	30,1	0,000149	0,315338	0,105076
46,7	19,8	3,97	30,1	0,000149	0,315338	0,104964
47	19,8	3,97	30,2	0,000299	0,314845	0,104852
47,5	19,8	3,97	30,2	0,000299	0,314845	0,104665
48,3	19,8	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104367
47,9	19,7	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104516
48,3	19,7	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104367
48,6	19,7	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104255
48,6	19,7	3,98	30,6	0,000896	0,31287	0,104255
48,3	19,7	3,97	30,7	0,001045	0,312376	0,104367
48,7	19,7	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104218
48,7	19,7	3,98	30,5	0,000746	0,313364	0,104218
49	19,6	3,98	31,3	0,00194	0,309414	0,104106
49,2	19,6	3,98	30,3	0,000448	0,314351	0,104031
49	19,7	3,98	31,2	0,001791	0,309908	0,104106
49,5	19,6	3,98	31	0,001493	0,310895	0,103919
49,5	19,6	3,98	31,5	0,002239	0,308427	0,103919
49,5	19,6	3,68	31	0,001493	0,310895	0,103919

Πίνακας 6 : Αποτελέσματα υπολογισμών για προσδιορισμό της καμπύλης f-chart για το PV-T

Μήνε ς	T a	Tref -Ta	Fr UL	Ac (m ²)	Δt (sec)	L(joule)	Fr τα	H (Mj/m ²)	R	Hτ (κεκλ)	(τα)/(τα)	K2	K3	X	Y	f
Ι	1 2	88	3,30 8	0,6324	2,68E+0 6	242784000	0,31583 2	220	1,5 1	33220000 0	0,93	1,17017 4	1,15227 3	2,7381776 5	0,25416 2	0,08157 3
Φ	1 3	87	3,30 8	0,632 4	2,42E+0 6	194400000	0,31583 2	259	1,3 2	34188000 0	0,93	1,17017 4	1,09816 1	2,9102415 9	0,32666 9	0,13682 7
Μ	1 4	86	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	177120000	0,31583 2	400	1,1 7	46800000 0	0,93	1,17017 4	1,12511 6	3,5815579 7	0,49080 5	0,23885 1
Α	1 8	82	3,30 8	0,632 4	2,59E+0 6	104544000	0,31583 2	493	1,0 3	50779000 0	0,93	1,17017 4	1,05243 9	5,2373907	0,90222 7	0,45369 3
Μ	2 1	79	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	748000000	0,31583 2	684	0,9 4	64296000 0	0,92	1,17017 4	1,01924 1	0,7057418 9	0,15794 9	0,11152 6
Ι	2 7	73	3,30 8	0,632 4	2,59E+0 6	140000000 0	0,31583 2	745	0,9	67050000 0	0,91	1,17017 4	0,89616 4	0,2964734 4	0,08704 8	0,06861 8
Ι	2 9	71	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	200000000 0	0,31583 2	781	0,9 2	71852000 0	0,92	1,17017 4	0,87267 6	0,2031071 2	0,06601 5	0,05374 1
Α	2 9	71	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	170000000 0	0,31583 2	713	1	71300000 0	0,93	1,17017 4	0,87267 6	0,2389495 5	0,07790 6	0,06326
Σ	2 5	75	3,30 8	0,632 4	2,59E+0 6	120000000 0	0,31583 2	526	1,1 3	59438000 0	0,94	1,17017 4	0,93413 3	0,3704180 8	0,09299 5	0,06976
Ο	1 9	81	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	484000000	0,31583 2	367	1,3	47710000 0	0,94	1,17017 4	1,05135 8	1,1535436 2	0,18507 2	0,10959 8
Ν	1 5	85	3,30 8	0,632 4	2,59E+0 6	111456000	0,31583 2	241	1,4 8	35668000 0	0,94	1,17017 4	1,09717 6	5,3087863 5	0,60082 9	0,24013 1
Δ	1 0	90	3,30 8	0,632 4	2,68E+0 6	212544000	0,31583 2	187	1,5 5	28985000 0	0,93	1,17017 4	1,17822 2	3,2708799	0,25331 2	0,05193 7

Πίνακας 7 : Αποτελέσματα υπολογισμών για προσδιορισμό της καμπύλης f-chart για το PV

Μήνε ς	I_T (Mj/m ²)	R(4 0)	\bar{H}_T Mj/m ²	I_T (Mj/m ²) atmo sf	KT	θζ	θ	Rb	φ	Xc	L wh	$\frac{ta}{U_L}$	η electric al	Ei W	Eεχ	\bar{E}_L	f
I	220	1,62	356,4	468	0,4700 85	0,4 2	0,7 8	0,5384 62	0,1 2	1,5240 04	600	23,880 6	0,1048 06	65,616 63	7,8739 96	57,742 63	0,0962 38
Φ	259	1,37	354,8 3	573	0,4520 07	0,5 2	0,7 9	0,6582 28	0,1 2	1,5296 66	600	24,615 38	0,1048 8	65,373 75	7,8448 5	57,528 9	0,0958 81
M	400	1,17	468	843	0,4744 96	0,4 5	0,8	0,5625	0,1 5	1,2045 15	600	25,396 83	0,1009 84	83,020 95	12,453 14	70,567 81	0,1176 13
A	493	0,99	488,0 7	1029	0,4791 06	0,8	0,8 4	0,9523 81	0,1 7	1,1554 82	600	29,090 91	0,1009 4	86,543 94	14,712 47	71,831 47	0,1197 19
M	684	0,88	601,9 2	1218	0,5615 76	0,8 7	0,8 5	1,0235 29	0,2 9	0,9614 43	1440	32,653 06	0,0983 67	104,01 03	30,163	73,847 34	0,0512 83
I	745	0,83	618,3 5	1242	0,5998 39	0,8 9	0,9	0,9888 89	0,2 4	0,9228 41	1440	43,243 24	0,0997 58	108,36 1	26,006 65	82,354 39	0,0571 91
I	781	0,85	663,8 5	1249	0,6253	0,8 8	0,9	0,9777 78	0,2 5	0,8614 28	1440	48,484 85	0,0995 46	116,08 64	29,021 59	87,064 77	0,0604 62
A	713	0,95	677,3 5	1122	0,6354 72	0,8 5	0,9	0,9444 44	0,2 3	0,8463 37	1440	48,484 85	0,0993 01	118,15 62	27,175 92	90,980 26	0,0631 81
Σ	526	1,12	589,1 2	891	0,5903 48	0,7 4	0,9	0,8222 22	0,2	0,9681 77	1440	39,024 39	0,0998 05	103,28 69	20,657 37	82,629 49	0,0573 82
O	367	1,35	495,4 5	691	0,5311 14	0,6	0,9	0,6666 67	0,1 9	1,1388 58	1440	30,188 68	0,1008 88	87,807 24	16,683 38	71,123 86	0,0493 92
N	241	1,58	380,7 8	489	0,4928 43	0,4 5	0,9	0,5	0,1 5	1,4368 73	600	26,229 51	0,1040 44	69,595 57	10,439 34	59,156 23	0,0985 94
Δ	187	1,66	310,4 2	422	0,4431 28	0,4	0,9	0,4444 44	0,0 5	1,7209 19	600	22,535 21	0,1065 62	58,108 49	2,9054 25	55,203 07	0,0920 05
										ΣL=	1224 0				ΣE_L	834,83 53	
															=		

												$f =$	0,07				
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------	-------------	--	--	--	--

Πίνακας 8 : Αποτελέσματα υπολογισμών για προσδιορισμό της καμπύλης f-chart για τον ηλιακό συλλέκτη

Μήνε ς	T a	Tref -Ta	Fr UL	A c	Δt (sec)	L(joule)	Fr τα	H (Mj/m2)	R	Hτ (κεκλ)	(τα)/(τα)	K3	X	Y	f	η thermal
I	1 2	88	8,33 3	2	2,68E+0 6	242784000	0,7 9	220	1,5 1	33220000 0	0,93	1,15227 3	9,32206 4	1,00528 6	0,35917 2	0,60294 4
Φ	1 3	87	8,33 3	2	2,42E+0 6	194400000	0,7 9	259	1,3 2	34188000 0	0,93	1,09816 1	9,90785 2	1,29207 4	0,49959 2	0,62560 2
M	1 4	86	8,33 3	2	2,68E+0 6	177120000	0,7 9	400	1,1 7	46800000 0	0,93	1,12511 6	12,1933 3	1,94128	0,70662 1	0,68316 2
A	1 8	82	8,33 3	2	2,59E+0 6	104544000	0,7 9	493	1,0 3	50779000 0	0,93	1,05243 9	17,8305 8	3,56857 7	0,94240 5	0,75585 2
M	2 1	79	8,33 3	2	2,68E+0 6	748000000	0,7 9	684	0,9 4	64296000 0	0,92	1,01924 1	2,40268 2	0,62473 7	0,40669 1	0,80384 5
I	2 7	73	8,33 3	2	2,59E+0 6	140000000 0	0,7 9	745	0,9	67050000 0	0,91	0,89616 4	1,00933 7	0,34430 2	0,26234 8	0,88433 7
I	2 9	71	8,33 3	2	2,68E+0 6	200000000 0	0,7 9	781	0,9 2	71852000 0	0,92	0,87267 6	0,69147 4	0,26111	0,20827 6	0,90297 7
A	2 9	71	8,33 3	2	2,68E+0 6	170000000 0	0,7 9	713	1	71300000 0	0,93	0,87267 6	0,81349 8	0,30814 2	0,24275 8	0,90072 6
Σ	2 5	75	8,33 3	2	2,59E+0 6	120000000 0	0,7 9	526	1,1 3	59438000 0	0,94	0,93413 3	1,26108	0,36782 2	0,26730 4	0,86072 7
O	1 9	81	8,33 3	2	2,68E+0 6	484000000	0,7 9	367	1,3	47710000 0	0,94	1,05135 8	3,92721 3	0,73201 3	0,40288 6	0,77318

N	1 5	85	8,33 3	2	2,59E+0 6	111456000	0,7 9	241	1,4 8	35668000 0	0,94	1,09717 6	18,0736 4	2,37645 9	0,76347 5	0,68057 5
Δ	1 0	90	8,33 3	2	2,68E+0 6	212544000	0,7 9	187	1,5 5	28985000 0	0,93	1,17822 2	11,1356 4	1,00192 3	0,30604 8	0,52154 7

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα υπολογισμών για προσδιορισμό των T_c , V_{oc} , Q_u , η_{th} , η_{el} για το PV-T

Μήνες	I_T (Kw/m2)	R(30)	\bar{H}_T Kw/m2	Q_u (W)	T_a (°C)	T_c (°C)	$T_{f,o}$ (°C)	V_{oc} new (Volt)	η_{el}	η_{th}	$(T_{in}-T_a)/I_T$
Ι	220	1,62	356,4	54,45022484	12	34,92065	27,24034	20,11185	0,11274063	0,24158509	0,022447
Φ	259	1,37	354,83	56,22843484	13	35,40793	27,47679	20,10332	0,11269948	0,2505785	0,019728
Μ	400	1,17	468	80,9239125	14	42,17507	30,76059	19,56711	0,11242055	0,27342559	0,012821
Α	493	0,99	488,07	93,29969481	18	45,56633	32,40621	19,52819	0,11225377	0,3022778	0,004098
Μ	684	0,88	601,92	122,3145693	21	53,5171	36,26437	19,02162	0,11191358	0,32132725	-0,00166
Ι	745	0,83	618,35	138,1469055	27	57,85553	38,36962	19,10889	0,11172904	0,35327665	-0,01132
Ι	781	0,85	663,85	151,4182976	29	61,49221	40,13434	18,96192	0,1115882	0,36067541	-0,01356
Α	713	0,95	677,35	154,1146817	29	62,23108	40,49288	18,98693	0,11159946	0,35978166	-0,01329
Σ	526	1,12	589,12	128,1251556	25	55,10934	37,03701	19,38313	0,11192723	0,34390523	-0,00849
Ο	367	1,35	495,45	96,86550761	19	46,54345	32,88037	19,70257	0,11229504	0,30915585	0,002018

N											
Δ	241	1,58	380,78	65,59506327	15	37,97461	28,72228	20,10697	0,1126265	0,27239878	0,013131
	187	1,66	310,42	41,08296131	10	31,25771	25,46287	20,23315	0,11286991	0,20927637	0,032214

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σ.Ν. Καπλάνης, ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ 'Ηλιακή μηχανική', Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2004
2. Σ.Ν. Καπλάνης, ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ 'Μηχανική των Φ/Β συστημάτων', Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2004
3. Duffie JA, Beckman WA "Solar Engineering of Thermal Processes" 2nd edition, Wiley, New York, NY, 1991
4. Msc dissertation : 'Integration of hybrid photovoltaic thermal systems within the façade of residential buildings', Θεοδωρόπουλος Νικόλαος.
5. H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven, 'The yield of different combined PV-thermal collector designs'. Solar Energy 74 (2003) 253-269
6. H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven, 2002 'The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector' Solar Energy 72 (2), 113-128
7. J.Hansen, J Bystrom, M. Collins, B. Karlsson, 'Market, Modeling, Testing and Demonstration in the framework of IEA SHC task35 on PV/thermal Solar systems'
8. Tripanagnostopoulos Y., Nouisias T., Souliotis M., Yianoulis P., "Hybrid Photovoltaic/Thermal solar system" Solar Energy, Vol 72, 2002, σελίδες 217-234.
9. <http://library.thinkquest.org/20331/>
10. <http://www.futurenergia.org/ww/el/pub/futurenergia/chats/oil.htm>
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum>
12. <http://www.smart-rfo.org/smart/>
13. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/
14. <http://users.forthnet.gr/ath/papsomad/fwtoboltaika.html>
15. <http://www.hydromedia.gr/content.asp?contentid=446>
16. <http://www.allaboutenergy.gr/Gaianthrakes.html>
17. <http://www.vatika2000.com/plirofories/arxeio%20eidhsewn/eidhseis%202008/03-2008/06.%20periballontikes%20epiptwseis%20ergostasiwn%2012-3-2008/periballontikes%20epiptwseis%20ergostasiwn.htm>
18. <http://www.citypress.gr/index.html?action=article&article=60141>
19. <http://news.pathfinder.gr/world/news/474981.html>
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas
21. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm
22. <http://www.smart-rfo.org/eure/download/wind%20energy%2029%206%202007.pdf>
23. http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php
24. www.buildinggreen.gr/wp-content/uploads/2009/02/48_53.pdf