



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ-ΑΝΤΛΙΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟ.**

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΚΑΤΣΕΛΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Β. Σπιτάς

ΑΘΗΝΑ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε όλο αυτό το διάστημα και διαμόρφωσε τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να μπορώ χωρίς περισπασμούς και με ηρεμία να συγκεντρωθώ στο έργο μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. κo Βασίλειο Σπιτά, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Με τις οδηγίες και τις εύστοχες παρατηρήσεις του διαμόρφωσε τις κατάλληλες συνθήκες για να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

Τέλος η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στη μνήμη του πατέρα μου, που έφυγε νωρίς.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται εκτενής μελέτη ενός υβριδικού συστήματος που χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκά πλαίσια κι αντλία θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα έχει παρατηρηθεί ότι σημαντικός παράγοντας πτώσης της απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης είναι η υπερθέρμανση της. Στη μελέτη προτείνεται μια καινοτόμα μέθοδος ψύξης από τις συνηθισμένες που έχουν διερευνηθεί (νερό, βεβιασμένος αέρας κ.ό.κ.), με ψυκτικό ρευστό R-410A. Παράλληλα όμως απορροφώντας ενέργεια το ψυκτικό ρευστό μεταφέρεται ενεργειακά σε υψηλότερη ενθαλπία υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Διερευνάται η αξιοποίηση αυτού του κέρδους μέσω αντλίας θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών που χρησιμοποιείται για θέρμανση του χώρου.

Ταυτόχρονα με τη μελέτη του υβριδικού συστήματος, πραγματοποιείται μελέτη ενεργειακού συμψηφισμού (net metering) στα πλαίσια του νέου νομοθετικού πλαισίου που διέπει τις Α.Π.Ε.. Πέρα από την τεχνική μελέτη πραγματοποιείται και οικονομική μελέτη της συνεισφοράς του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Τα αποτελέσματα που εξάγονται από την μελέτη δείχνουν το μέγεθος της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας τη θερμική και ηλιακή ενέργεια:

- 1) Από τον ενεργειακό συμψηφισμό με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων (net metering)**
- 2) Από την ενεργειακή εξοικονόμηση στην απόδοση της αντλίας με τη βελτίωση του COP.**
- 3) Από την βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυψελών στα πλαίσια που μετατράπηκαν σε εναλλάκτες (PV/T) παίζοντας το ρόλο του εξαμιστή.**

<u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u>	2
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	3
<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	4
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 -ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</u>	
<u>1.1. Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας</u>	5
<u>1.2. Ηλιακή γεωμετρία</u>	5
<u>1.3. Ηλιακή ακτινοβολία στον ηλιακό συλλέκτη</u>	11
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u>	
<u>2.1. ΦΒ φαινόμενο και ΦΒ σύστημα</u>	15
<u>2.2. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα</u>	15
<u>2.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο</u>	17
<u>2.4. Βασικά μέρη ΦΒ συστήματος</u>	19
<u>2.5. Αντιστροφέας DC/AC</u>	24
<u>2.6. Ηλιοθερμικά Συστήματα</u>	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</u>	
<u>3.1. Αντλία θερμότητας</u>	29
<u>3.2. Συγκριτική τεχνικοοικονομική μελέτη με άλλες τεχνολογίες θέρμανσης</u>	35
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ</u>	
<u>4.1. Κατηγοριοποίηση ψυκτικών ρευστών</u>	40
<u>4.2. Ειδική αναφορά στο ψυκτικό ρευστό του συστήματος μελέτης R-410A</u>	44
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ</u>	
<u>5.1. Νομοθετικό πλαίσιο- net metering</u>	48
<u>5.2. Μετεωρολογικά Δεδομένα</u>	54
<u>5.3. Περιγραφή συστήματος μελέτης</u>	57
<u>5.4. Διαστασιολόγηση ΦΒ συστήματος</u>	60
<u>5.5. Ενεργειακά αποτελέσματα</u>	67
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ</u>	
<u>6.1. Οικονομοτεχνικά στοιχεία</u>	78
<u>6.2. Οικονομοτεχνική ανάλυση</u>	80
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	85
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1. Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας

Ο ήλιος είναι μια σφαίρα αποτελούμενη από πυκνή και καυτή αέρια ύλη διαμέτρου 1.39×10^9 m και είναι σε μια μέση απόσταση 1.5×10^{11} m από τη γη. Όπως φαίνεται από τη γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες. Παρ' όλα αυτά, δεν περιστρέφεται σαν ένα συμπαγές στερεό σώμα., αλλά ο ισημερινός περιστρέφεται σε 27 μέρες ενώ οι περιοχές κοντά στους πόλους σε 30 μέρες περίπου.[1]

Ο ήλιος έχει μια ενεργή θερμοκρασία μέλανος σώματος στους 5777°K . Η θερμοκρασία στο κεντρικό εσωτερικό του μέρος υπολογίζεται χονδρικώς μεταξύ 8×10^6 με 40×10^6 και η πυκνότητά του 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του νερού. Ο ήλιος είναι ένας αντιδραστήρας σύντηξης, με τα αέρια που τον απαρτίζουν να αποτελούν το "περιέχον κέλυφος" το οποίο συντηρείται εξαιτίας βαρυτικών δυνάμεων. Πολλές αντιδράσεις σύντηξης έχουν προταθεί με επικρατέστερη αυτήν κατά την οποία δύο άτομα υδρογόνου (δηλ. τέσσερα πρωτόνια) ενώνονται σε ένα άτομο ηλίου, η μάζα του ηλίου που προκύπτει είναι λιγότερη από τα τέσσερα αρχικά πρωτόνια και έτσι η απώλεια αυτή της μάζας μετατρέπεται σε ενέργεια.

Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας σε θερμοκρασίες πολλών εκατομμυρίων βαθμών Kelvin πρέπει να μεταφερθεί στην επιφάνεια και εν συνεχεία να ακτινοβοληθεί στο διάστημα. Μια διαδοχική διαδικασία ακτινοβολίας και συναγωγής συμβαίνει με διαδοχική εκπομπή, απορρόφηση και επανακτινοβολία. Η ακτινοβολία στον πυρήνα του ήλιου είναι στο φάσμα των ακτινών X και Γάμμα, με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας να μεγαλώνει όσο η θερμοκρασία μειώνεται και η ακτίνα αυξάνει.

1.2. Ηλιακή γεωμετρία

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας.

1.2.2 Γεωγραφικό πλάτος

Το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό και είναι: $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διάφορων ελληνικών περιοχών, για την επιλογή της σωστής κλίσης του ηλιακού συλλέκτη. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους ώστε να παρακολουθεί κάπως την απόκλιση του ήλιου.

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό Πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41° 30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39° 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακιών, Ιεράπετρα, Αγ.Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

Πίνακας 1.1: Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων Ελληνικών πόλεων και περιοχών

1.2.3 Ηλιακή απόκλιση

Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης δ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού.

Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι $+23,45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,45^\circ$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

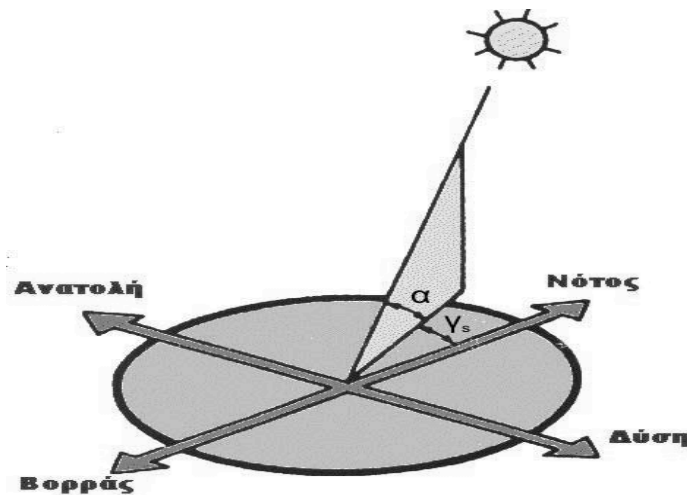
Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές

του έτους.

Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.

1.2.4 Ύψος και αζιμούθιο ηλίου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος του ήλιου α και το αζιμούθιο του ήλιου γ_s , οι οποίες εικονίζονται στο Σχήμα 1.2.[3]



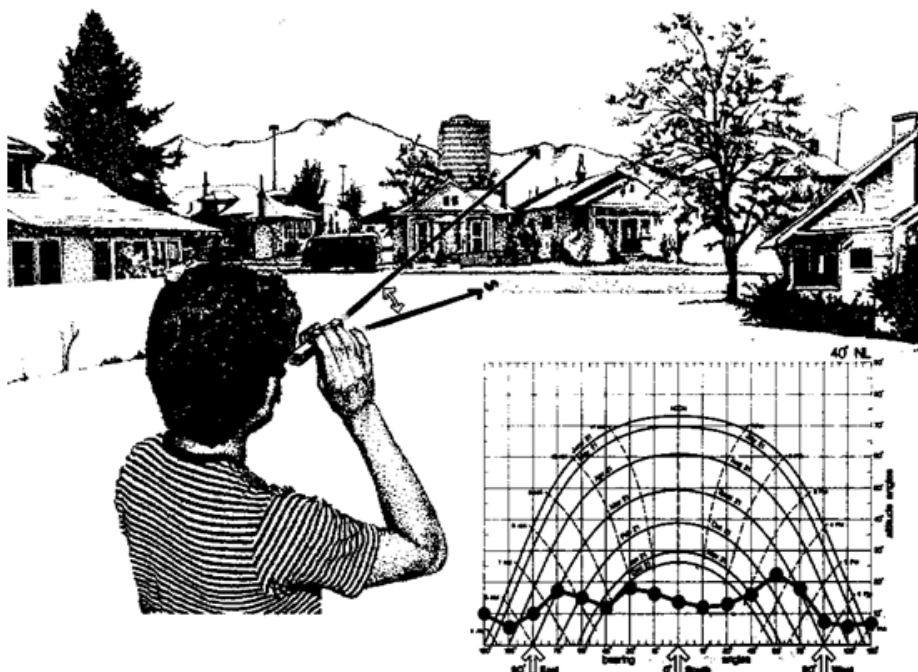
Σχήμα 1.1: Το ύψος α και το αζιμούθιο του ήλιου γ_s

Το ύψος του ήλιου α είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Το αζιμούθιο γ_s είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *as summut*, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό $\gamma_s=0$
- Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.

Η μέθοδος προβολής για την παράσταση της κίνησης του Ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παράσταση οποιουδήποτε σημείου του χώρου: Ένα δεδομένο σημείο και το σημείο παρατήρησης ορίζουν μια οπτική ακτίνα που προσδιορίζεται όπως και οι ηλιακές ακτίνες, δηλαδή από τις γωνιακές συντεταγμένες (αζιμούθιο και γωνιακό υψόμετρο). Έτσι, το περίγραμμα του πραγματικού ορίζοντα όπως φαίνεται από τη θέση παρατήρησης μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα ηλιακό διάγραμμα ως τεθλασμένη γραμμή που ορίζεται από σειρά σημείων με γνωστές γωνιακές συντεταγμένες (Σχήμα 1.3). Προφανώς δεν υπάρχει άμεση ηλιακή πρόσβαση όταν ο Ήλιος βρίσκεται κάτω από αυτή τη τεθλασμένη. Παρεμφερής εφαρμογή είναι οι

‘μάσκες σκιασμού’, η απεικόνιση δηλαδή του τμήματος του ουρανού που δεν είναι ορατή εξ’ αιτίας παρεμβολής εμποδίου μεταξύ αυτού και του σημείου παρατήρησης.



Σχήμα 1.2: Απεικόνιση της μεθόδου προβολής για την παράσταση της κίνησης του Ήλιου

1.2.5 Ζενιθιακή γωνία ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται *ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου θz*. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη Senit που σημαίνει ευθεία οδός.

1.2.6 Ωριαία γωνία

Ορίζεται ως *ωριαία γωνία ω* του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

1.2.7 Προσανατολισμός ηλιακού συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του Φ/Β συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αξιμούθια γωνία.

Η *κλίση του συλλέκτη β* είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη πρέπει να είναι στραμμένο προς τα κάτω.

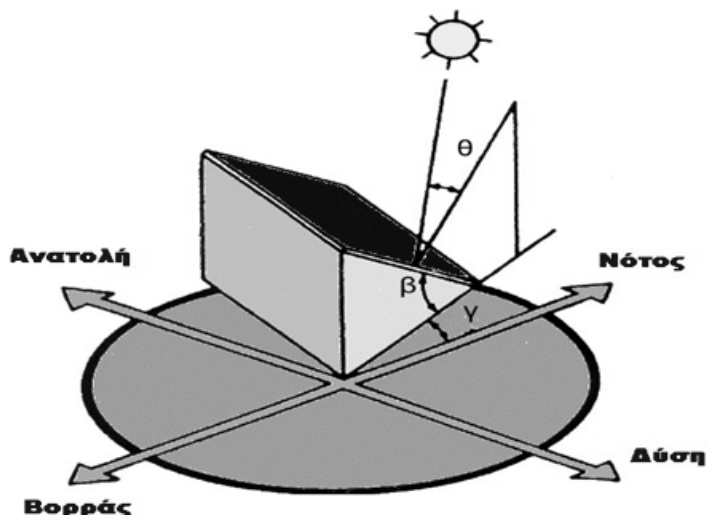
Η *αξιμούθια γωνία του συλλέκτη γ* είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το

βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης θ είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση (Σχήμα 1.3):

$$\cos\theta = (\sin\delta \cdot \sin\varphi) - (\sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma) + (\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega) + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\omega \cdot \sin\gamma \quad (1.1)$$

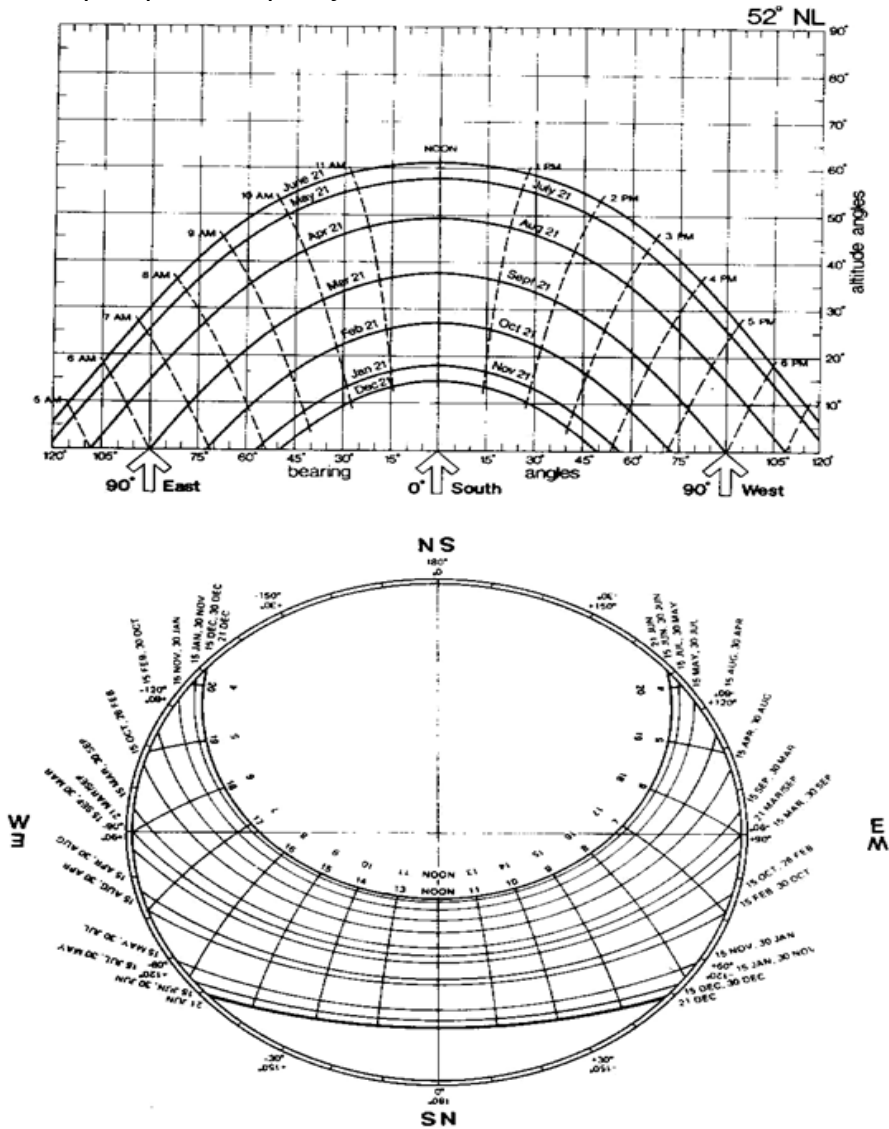


Σχήμα 1.3: Η κλίση του συλλέκτη β , το αζιμούθιο του συλλέκτη γ , και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη θ

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

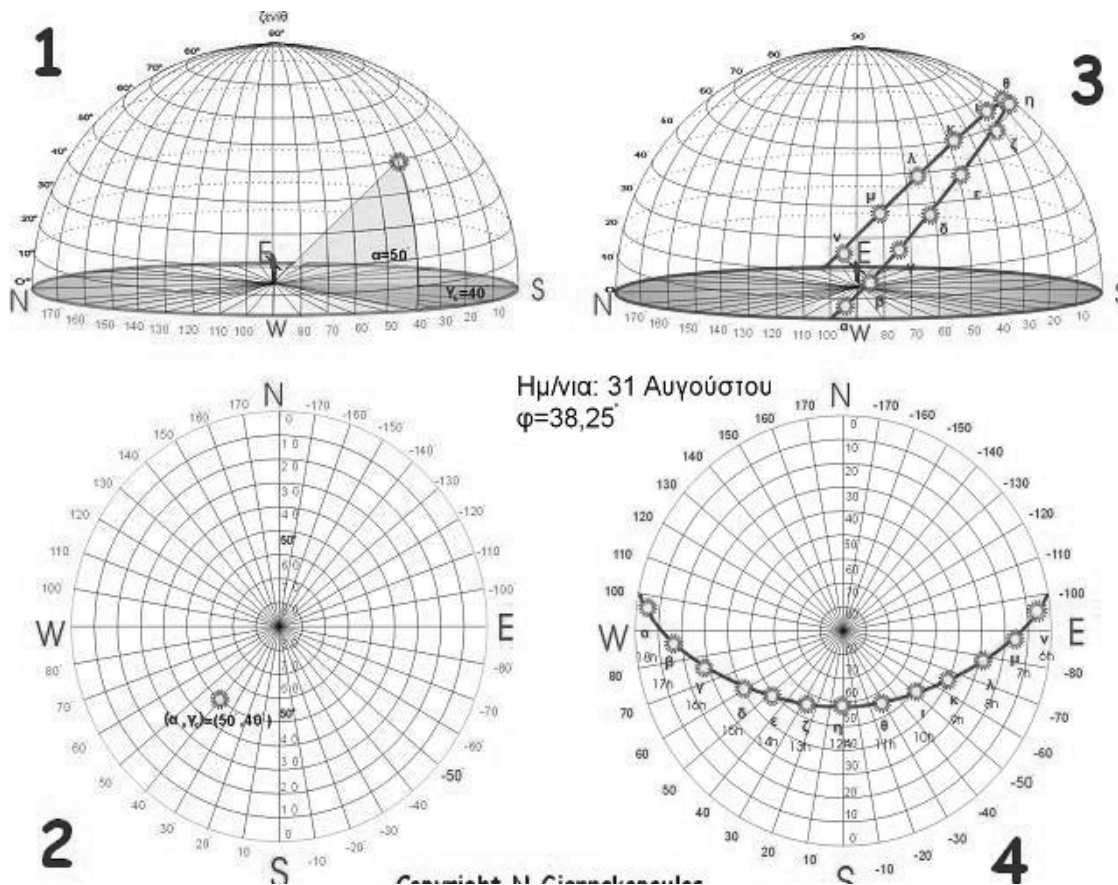
Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το

νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30° ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45° , ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25° . Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους.



Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστική τροχιά (καμπάνα) του ήλιου διάφορες ημερομηνίες του χρόνου

Στο Σχήμα 1.4 απεικονίζεται ένα διάγραμμα της χαρακτηριστική τροχιάς του ήλιου για μια δεδομένη τοποθεσία. Στο διάγραμμα του Σχήματος 1.5 γίνεται αντιληπτή η κίνηση του ήλιου σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος $\varphi=38,25^\circ$ την 31^η Αυγούστου. Γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα της εύρεσης των κατάλληλων γωνιών για τη βέλτιστη πρόσπτωση αυτών στα ηλιακά συστήματα. Στην τρισδιάστατη εικόνα φαίνεται το τι είναι η επονομαζόμενη καμπάνα (τροχιά) του ηλίου.



Σχήμα 1.5 : Χαρακτηριστική τροχιά ήλιου σε συγκεκριμένο χρόνο και τόπο

1.3. Ηλιακή ακτινοβολία στον ηλιακό συλλέκτη

1.3.1 Μεθοδολογία υπολογισμού

Μέθοδοι υπολογισμού της απόδοσης ηλιακών συστημάτων, για μακρά χρονική περίοδο, απαιτούν τον μέσο όρο της απορροφούμενης ακτινοβολίας από τον συλλέκτη, υπολογισμένη σε μηνιαίες περιόδους. Η διαπερατότητα και η απορροφητικότητα εξαρτώνται από τη γωνία κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον συλλέκτη. Ο Klein ήταν ο πρώτος που υπολόγισε τη μέση μηνιαία απορροφώμενη ακτινοβολία από έναν συλλέκτη. Η εξίσωση υπολογισμού είναι:

$$S = H_T(\tau_a) = HR(\tau_a) \quad (1.2)$$

Όπου:

S: απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία [MJ/m²]

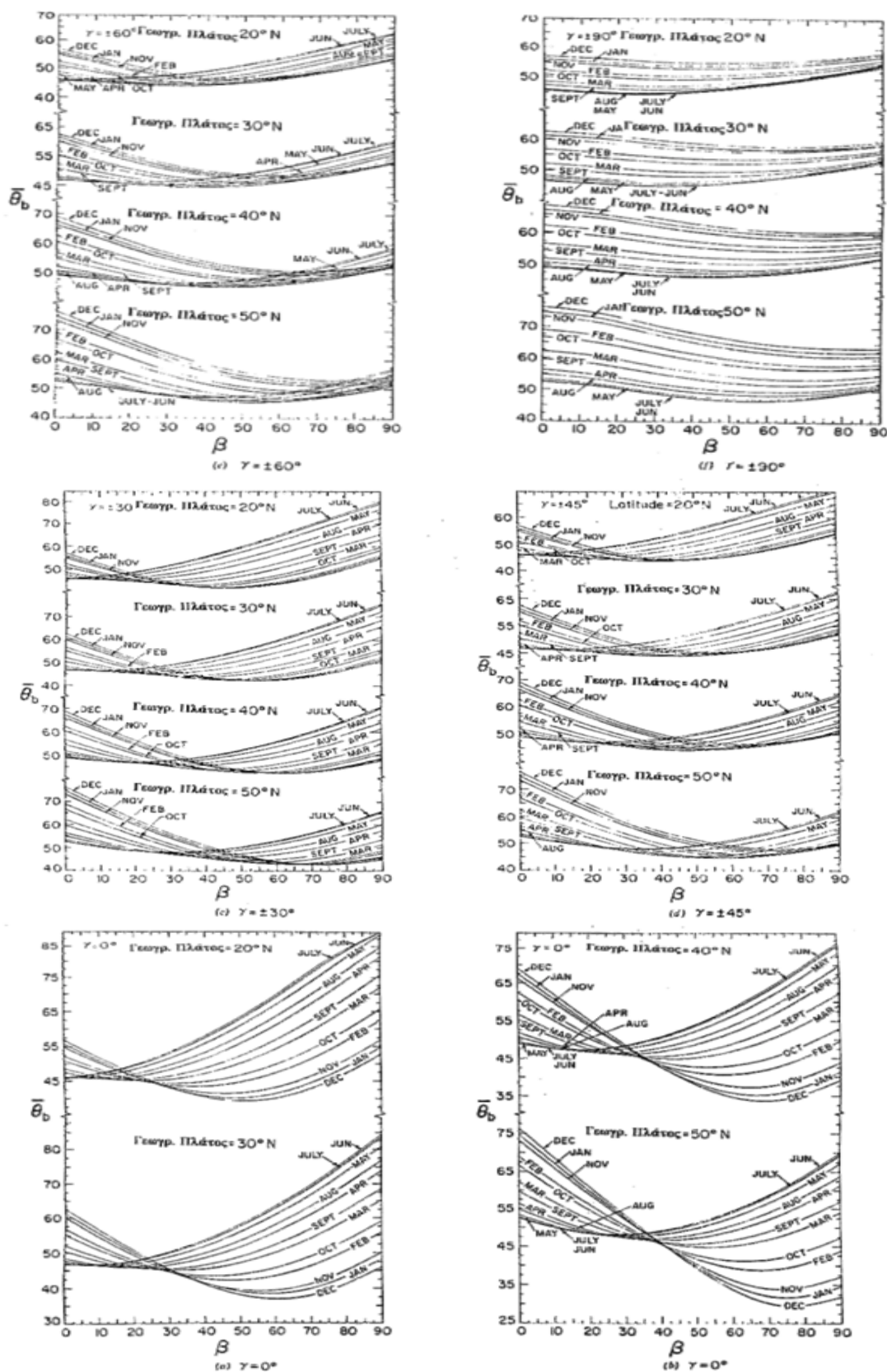
H: μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο συλλέκτη [MJ/m²]

H_t: μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο συλλέκτη [MJ/m²]

Για μέση μηνιαία ακτινοβολία τα αποτελέσματα δίνονται από τον Klein στα διαγράμματα του Σχήματος 1.8. Σε αυτά τα διαγράμματα η γωνία πρόσπτωσης δίνεται συναρτήσει της κλίσης του συλλέκτη, του γεωγραφικού πλάτους και της αζιμουθιας γωνίας. Ο Klein βρήκε επίσης ότι για επίπεδους συλλέκτες, το μέγεθος $(\tau_a)_b$, μπορεί να παρθεί κατά προσέγγιση από το μέσο όρο των τιμών του μεγέθους (τ_a) , σε γωνία πρόσπτωσης που λαμβάνεται σε χρονικό διάστημα 2.5 ωρών από το ηλιακό μεσημέρι για τη μέση μέρα του μήνα.

Ακόμη βρήκε ότι η τιμή του λόγου $(\tau_a)/(\tau_a)_b$, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, είναι σχεδόν σταθερή και ίση με 0.96, για συλλέκτες με ένα κάλυμμα και προτείνει την

χρησιμοποίηση αυτής της σταθεράς σε κεκλιμένους προς τον ισημερινό συλλέκτες, με κλίση γ , κατά προσέγγιση, ίση με το γεωγραφικό πλάτος προσθέτοντας και 15° παραπάνω. Για ηλιακούς συλλέκτες με δύο καλύμματα, προτείνεται ο λόγος $(\tau_a)/(\tau_a)_n$ να έχει σταθερή τιμή ίση με 0.94.



Σχήμα 1.6: Μέση μηνιαία γωνία πρόσπτωσης ακτίνας για διάφορες θέσεις και προσανατολισμούς

Η μέση μηνιαία απορροφούμενη ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο δίνεται από τον τύπο:

$$H_T = RH \quad (1.3)$$

όπου R ένας συντελεστής μετατροπής και δίνεται από τον τύπο

$$R = (1 - H_d/H) \cdot R_b + [(H_d/H) \cdot (1 + \cos\beta)/2] + \rho \cdot (1 - \cos\beta)/2 \quad (1.4)$$

όπου:

H_d η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία

R_b ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο

β η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

ρ ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους

Στην παραπάνω εξίσωση ο πρώτος όρος εκφράζει τη συμμετοχή της άμεσης ακτινοβολίας, ο δεύτερος όρος τη συμμετοχή της διάχυτης ακτινοβολίας και ο τρίτος όρος τη συμμετοχή της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος πάνω στον συλλέκτη.

Ο λόγος H_d/H , δίνεται συναρτήσει του συντελεστή αιθριότητας, K_T , που είναι ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Μέσες μηνιαίες τιμές αυτής της ακτινοβολίας δίνονται στον Πίνακα 1.2. Η σχέση μεταξύ H_d/H και K_T δίνεται από την εμπειρική σχέση Liu-Jordan.

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

Πίνακας 1.2: Μέση Μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (MJ/m^2)

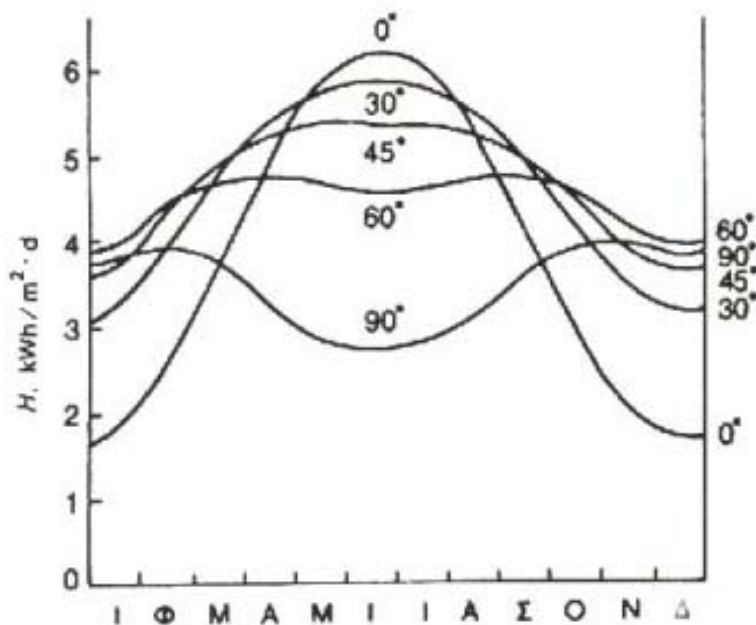
Ο τρόπος αυτός υπολογισμού ισχύει για επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό, μπορεί δε να εφαρμοστεί χωρίς μεγάλο σφάλμα και για επιφάνειες με προσανατολισμό που αποκλίνει μέχρι 15° από τον νότο.

1.3.2. Πρακτικοί κανόνες για τη μέγιστη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Λόγο όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 1.9 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους, ενώ στο Σχήμα 1.10 δίνεται ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Συνοψίζοντας:

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος ($\gamma=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 1.8: Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10-15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1. Οικονομική εξέλιξη ΦΒ συστημάτων

Το αρχικό υψηλό κόστος παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων περιόριζε την εφαρμογή τους μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 αγγίζει τα **100\$/W**. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/W**. Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το **1980** από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (**dual-axis trackers**).[2]

Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το **1983** η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 2,5 δις \$. Το **1999** η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Το **2004** η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την **τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων** στα 6,5 ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MW** ΦΒ στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα **6,5 δις \$**. Σήμερα έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την **Γερμανία** και την **Ιαπωνία** έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. **Η τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων πλέον φτάνει τα 1,3€/ Wp.** [3a]

Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

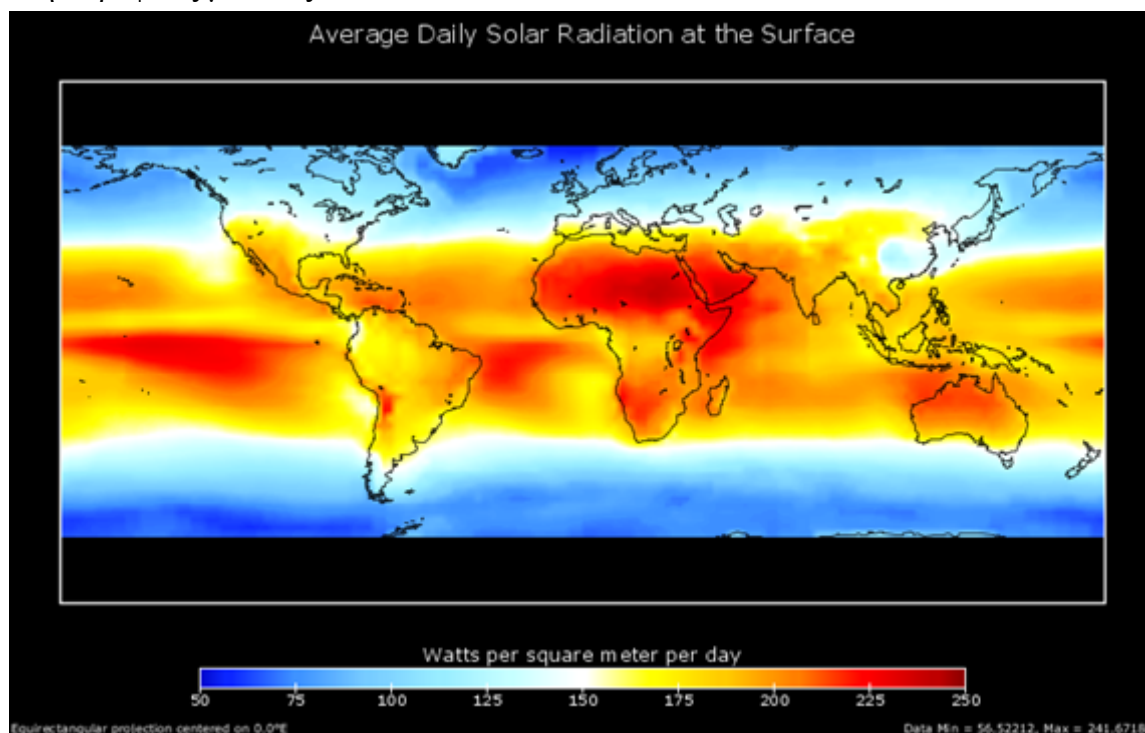
2.2. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Πάντως τίποτα από αυτά δεν θα γινόταν πραγματικότητα εάν δεν είχε επικυρωθεί το **πρωτόκολλο του Κιότο** και άλλες διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν κάτω από την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα

από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με την χρήση "πράσινων" τεχνολογιών (ΑΠΕ). Η περισσότερη γνωστή από αυτές είναι η **ενοϊκή τιμολόγηση** της ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστή και ως **feed - in - tariff**.

Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει και αυτή με την σειρά της κίνητρα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία μάλιστα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για τους υποψήφιους επενδυτές. Όμως η παροιμιώδης ανικανότητα και διαφθορά που μαστίζει τους κρατικούς φορείς, **κατάφερε** την πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία της εποχής μας να την κάνει να χαρακτηρίσει ως "φούσκα".

Εκατοντάδες αιτήσεις για άδειες παραγωγής ενέργειας στην ΡΑΕ και άλλες τόσες αιτήσεις **αδειών - εξαιρέσεων** προς επιδότηση από τον επενδυτικό νόμο, περιμένουν καρτερικά σε κάποια συρτάρια την ώρα της κρίσης τους. Παρόλα αυτά, ευτυχώς δεν φαίνεται να "κατόρθωσε" ο κρατικός μηχανισμός να αναχαιτίσει στην χώρα μας την παγκόσμια δυναμική των φωτοβολταϊκών, αφού η εφευρετικότητα του έλληνα κατασκευαστή αλλά και η "προνοητικότητα" κάποιων επενδυτών έχουν ήδη "στείλει" κάποιες **μεγαβατώρες** στο δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης, πέρα από τις επενδύσεις σε **διασυνδεδεμένα συστήματα** μια άλλη αγορά ΦΒ που αναπτύσσεται είναι αυτή των **αυτόνομων συστημάτων**, αφού η τιμή της φωτοβολταϊκής κιλοβατώρας πλέον ανταγωνίζεται με αξιώσεις αυτήν του πετρελαίου και μάλιστα παρουσιάζει και αρκετά πλεονεκτήματα έναντι αυτής. Τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα προς το παρόν βρίσκονται στο Άγιο Όρος, αλλά πλέον υπάρχουν πολλές ΦΒ εγκαταστάσεις σε εξοχικές κατοικίες, απομακρυσμένους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, φάρους, κτηνοτροφικές μονάδες κλπ.



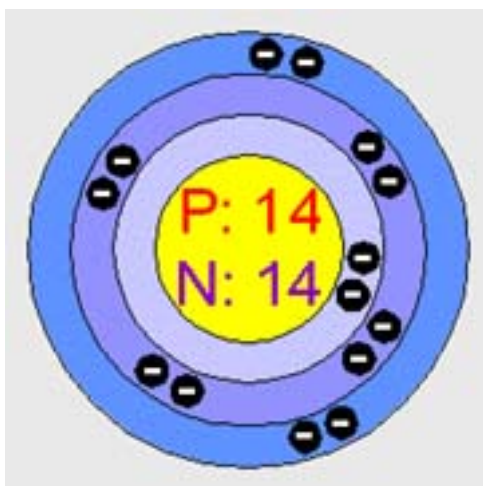
Σχήμα 2.1: Ηλιακός χάρτης που δείχνει την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά m^2

2.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των **ημιαγωγών** υλικών σε ατομικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε τη διαπερνά είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρ' όλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Γενικότερα τα υλικά στη φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.

Το **πυρίτιο** έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.[2]



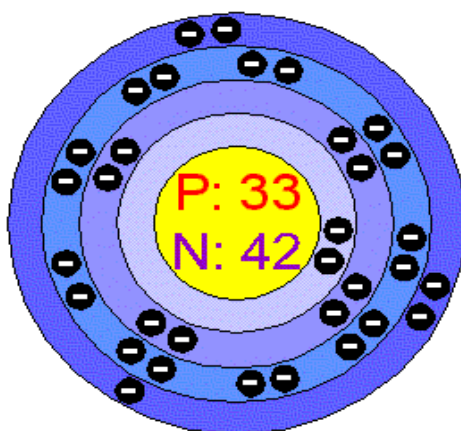
Σχήμα 2.2: Απεικόνιση ατόμου πυριτίου

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε

αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

2.3.1. Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με τη πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου p**) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό **τύπου n**). Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός **τύπου n** ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το **Αρσένιο (As)**.

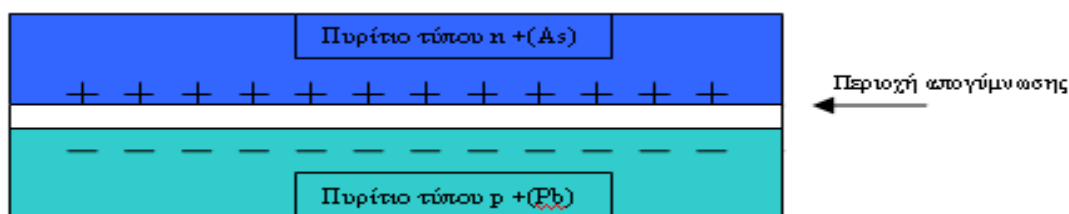


Σχήμα 2.3: Απεικόνιση ατόμου Αρσενίου

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το **βόριο(B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

2.3.2. Δημιουργία της επαφής (ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν φέρουμε σε επαφή δυο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

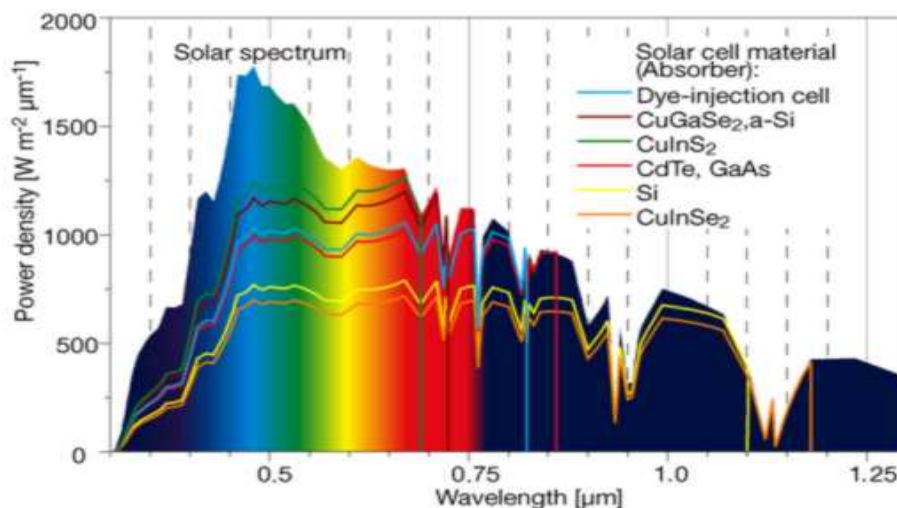


Σχήμα 2.4: Ηλεκτρική διόδος μεταξύ ημιαγωγών

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις οπές της επαφής **p**. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φ/β κελιού και η βάση της φ/β τεχνολογίας.

2.3.3. Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φ/β κελιών περνούν αδιατάραχτα την επαφή **τύπου n** και χτυπούν τα άτομα της περιοχής **τύπου p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής **τύπου p** αρχίζουν να κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα απόδοσης για διάφορους τύπους ΦΒ πλαισίων

Αφού ξεπεράσουν το **ενεργειακό χάσμα** αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής **n** πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να **παράγει ηλεκτρικό ρεύμα** εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής **n** και στο κάτω της επαφής **p** και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του **φωτοβολταϊκού στοιχείου**.

2.4. Βασικά μέρη ΦΒ συστήματος

2.4.1. ΦΒ πλαίσια

Το σημαντικότερο κομμάτι σε ένα ΦΒ σύστημα αποτελούν τα ΦΒ πάνελ, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω της λειτουργίας των ημιαγωγών που αναλύθηκε εκτενώς παραπάνω. [1α]

2.4.1.α ΦΒ στοιχεία πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν **φωτοβολταϊκά στοιχεία** στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το **90% της αγοράς** των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το *διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂)* (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους **125 °C** κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της **ηλεκτρονικής** (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (**σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου**) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.
- Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το **μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο** χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της **καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας** ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ [18] και η μέθοδος FZ (**float zone**). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της **SunPower** με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

2) Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η χύτευση τήγματος πυριτίου και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την **Evergreen Solar**. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

2.4.1.β ΦΒ υλικά λεπτών επιστρώσεων ,thin film

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του **18,8%** η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το **ίνδιο** υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για 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. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά **thin films** πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα 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 (συννεφιά).

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 φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την **διάρκεια ζωής** των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την

δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία **CdTe** είναι η **First Solar**. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η **Greenpeace** έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή **έλλειψη του Τελλουρίου**. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (**BIPV Building Integrated Photovoltaic**).

4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές **ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators)**. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για **διαστημικές εφαρμογές**. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

2.4.1.γ Υβριδικά Φ/B στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά **υβριδικά φωτοβολταϊκά** στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την **Sanyo Solar**. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο **17,2%** και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλά πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η **υψηλή τους απόδοση** σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.4.1.δ Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά διάφορων τύπων φ/β πάνελ της εταιρείας eps soltec:

Είδος	Φ/Β στοιχεία σε σειρά	Τάση U_0 max. (Volt)	Ισχύς (W_{peak})	Διαστάσεις ΜxΠxΥ	Βάρος σε γραμ. περίπου
SM 0,5 700	1	0,6	0,35	84x38x4	19
SM 0,5 1400	1	0,6	0,7	84x68x4	33
SM 01 700	2	1,2	0,7	84x68x4	33
SM 02 700	4	2,3	1,4	129x84x4	60
SM 03 700	8	4,7	2,8	160x128x4	118
SM 05 700	16	9,4	5,4	256x162x7	400
SM 12 230	36	21	3,9	200x156x7,5	312
SM 12 260	36	21	4,4	84x402x75	440
SM 12 460	36	21	7,8	184x340x75	760
SM 12 1200	36	21	23	327x506x9	2150
SM 10 1700	28	18	23	327x506x9	2800

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων



2.5. Αντιστροφέας DC/AC (inverter)

Η διάταξη αυτή μετατρέπει τη συνεχή τάση (DC) σε εναλλασσόμενη (AC) και χρησιμοποιείται όταν διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως, ενώ η κατανάλωση περιλαμβάνει συσκευές εναλλασσόμενης τάσεως. Δηλαδή, κλασική περίπτωση εφαρμογής αποτελούν τα φ/β συστήματα οικιακής χρήσεως. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη λειτουργία της παράγεται μεγάλο πλήθος αρμονικών υψηλών συχνοτήτων, οι οποίες περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα. Οι ηλιακοί αντιστροφέες ποικίλουν από εταιρεία σε εταιρεία ως προς την ισχύ τους και τον τρόπο σύνδεσης (ως προς την ομαδοποίηση με τα ΦΒ στοιχεία). Βασικό στοιχείο των αντιστροφέων είναι η ισχύς που δέχονται από τις ΦΒ γεννήτριες, σε kVA ή σε kW. Ένας τυπικός αντιστροφέας DC/AC εικονίζεται στο Σχήμα 2.6



Σχήμα 2.6: Τυπικός Αντιστροφέας DC/AC

Σε κάθε φ/β σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, η Δ.Ε.Η. απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης μέσω διατάξεων του αντιστροφέα DC/AC, έτσι ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται σε περίπτωση έλλειψης τάσεως από το δίκτυο της (αποφυγή φαινομένου νησιδοποίησης), ή όταν η τάση και η συχνότητα του ρεύματος αποκλίνουν των παρακάτω ορίων:

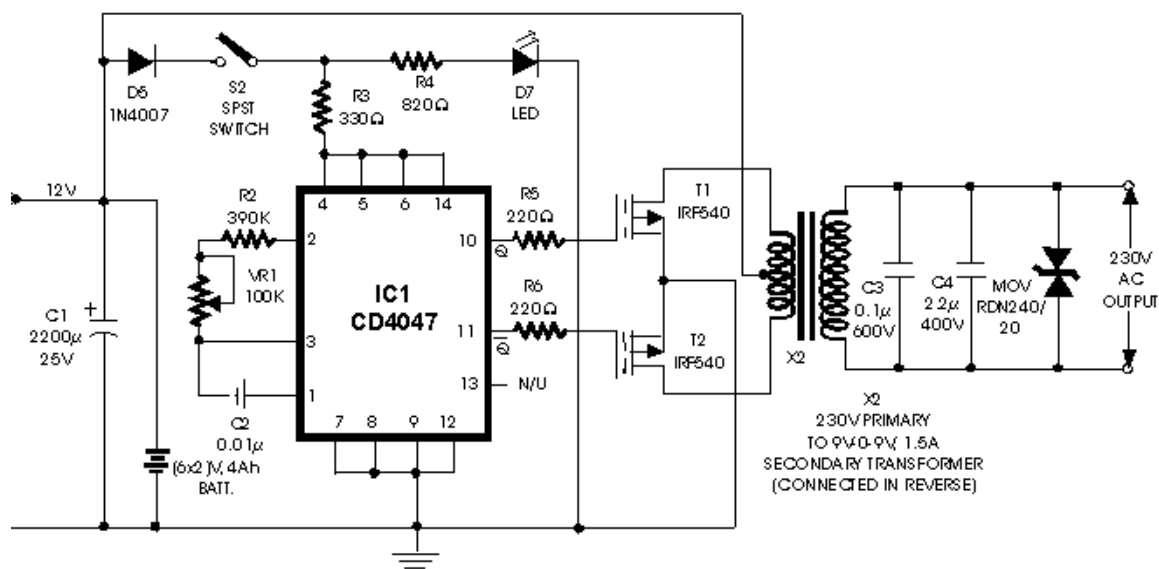
- Τάση: από +15% έως -20% επί της ονομαστικής τιμής (220V)
- Συχνότητα: $\pm 0,5$ Hz της ονομαστικής τιμής (50Hz)

Σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων αυτών, ο αντιστροφέας τίθεται εκτός λειτουργίας (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

- Απόζευξη αντιστροφέα σε 0,5 s
- Επανάζευξη αντιστροφέα μετά από 3 min.

Για να επιλέξουμε INVERTER DC/AC πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας τις εξής παραμέτρους:

- Ονομαστική Τάση
- Ισχύς εξόδου
- Τάση εξόδου



Σχήμα 2.7: Τυπικό διάγραμμα ηλεκτρονικής διάταξη inverter DC/AC

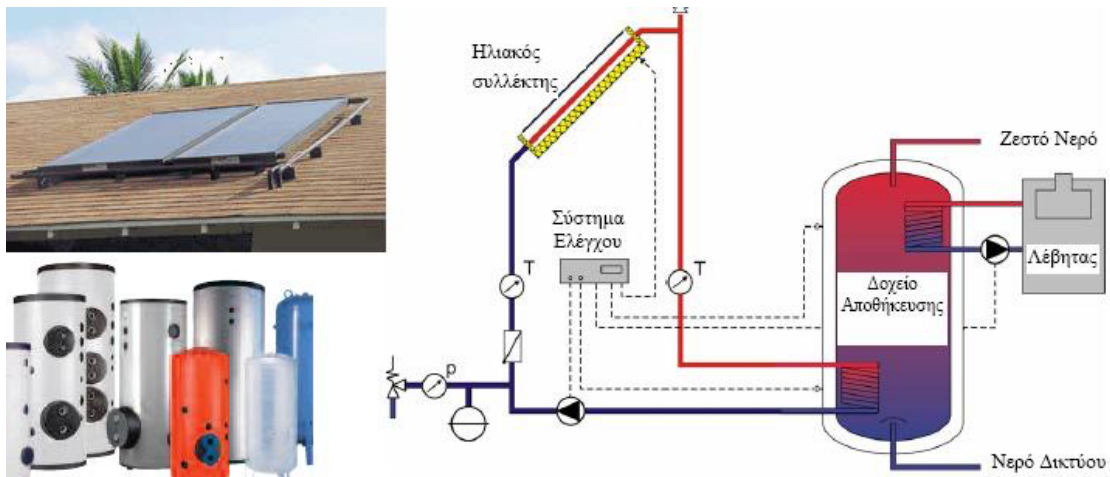
2.6. Ηλιοθερμικά συστήματα

Τα ηλιοθερμικά συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια δηλαδή την ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και είναι μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. [2]

Τα ηλιοθερμικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα χρήσεων της καθημερινότητας μας. Χρησιμοποιούνται:

- σε μικρά και μεγάλα κτίρια για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, θέρμανση (ηλιακή θέρμανση) και κλιματισμό χώρων,
- σε κολυμβητικές δεξαμενές για τη θέρμανση νερού,
- για θέρμανση εδάφους σε θερμοκήπια,

- για παραγωγή ζεστών νερών που απαιτούνται σε παραγωγικές διαδικασίες όπως σαπυνοποιεία, βαφεία, ζυθοποιεία κλπ.
- στην αφαλάτωση νερού και
- στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (μέσω ατμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής)



Σχήμα 2.8: Τυπικό διάγραμμα ηλιοθερμικής διάταξης

Ανάλογα με το ρευστό, που κυκλοφορεί στους συλλέκτες, τα ηλιοθερμικά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- I. Ηλιοθερμικά συστήματα με συλλέκτες νερού.
- II. Ηλιοθερμικά συστήματα με συλλέκτες αέρα.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα, επίσης, διακρίνονται με βάση της λειτουργία τους σε τέσσερις κατηγορίες:

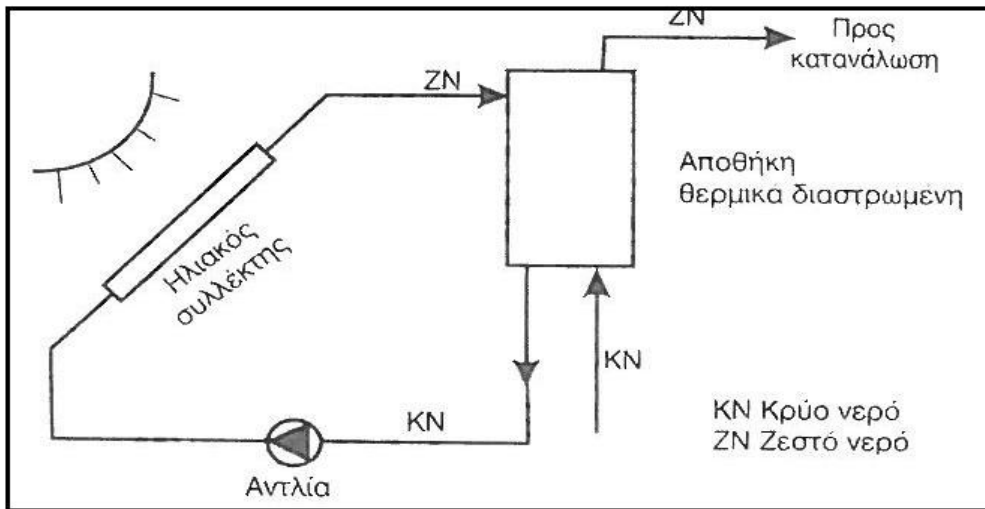
- I. Ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης.
- II. Ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης και θέρμανσης χώρων.
- III. Ηλιοθερμικά συστήματα κλιματισμού.
- IV. Ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτών κολυμβητικών δεξαμενών.

Τα συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία I, διακρίνονται σε:

- Τοπικά ή ατομικά (ηλιακοί θερμοσίφωνες),
- Κεντρικά (Boiler ζεστού νερού με συστοιχία ηλιακών συλλεκτών),

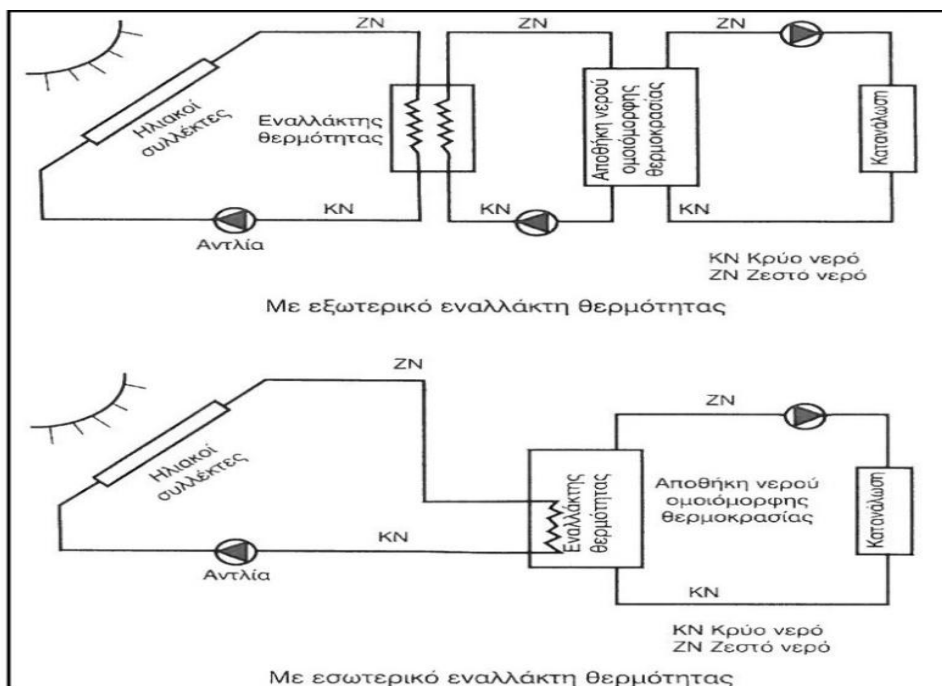
ενώ αυτά που ανήκουν στη κατηγορία II, διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος, (στα συστήματα αυτά, σχήμα 2.2.1.1, το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης διέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες)



Σχήμα 2.9. Ηλιοθερμικό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος για παραγωγή ζεστού νερού

- Ηλιοθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος (στα συστήματα αυτά, σχήμα 2.2.1.2, μεταξύ των συλλεκτών και της δεξαμενής αποθήκευσης παρεμβάλλεται ένας εναλλάκτης θερμότητας, οπότε το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών δεν αναμειγνύεται με το νερό της δεξαμενής.



Σχήμα 2.10. Ηλιοθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος για παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανση χώρων

Τα ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος διακρίνονται σε παθητικά συστήματα ή συστήματα φυσικής κυκλοφορίας και σε ενεργητικά ή συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας που ονομάζονται και θερμοσιφωνικά ή ηλιακοί θερμοσίφωνες λειτουργούν χωρίς αντλία, ενώ στα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας η χρήση της αντλίας είναι απαραίτητη.

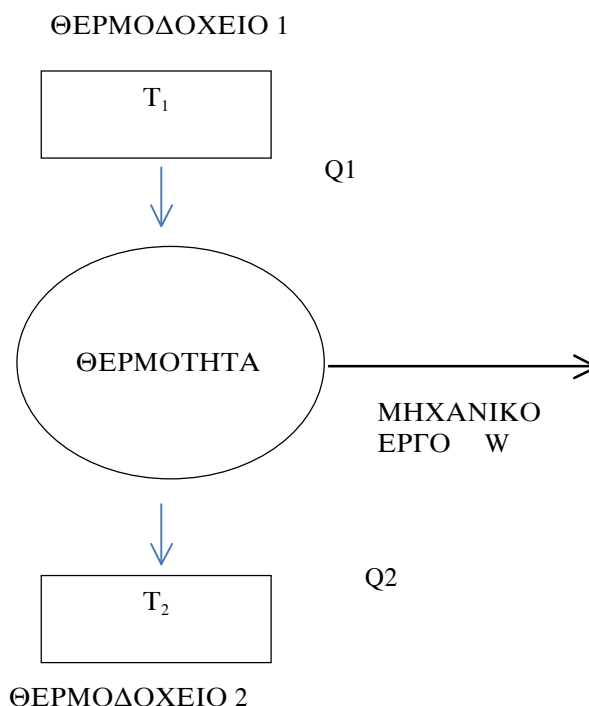
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη αντλία θερμότητας κατασκευάστηκε από τον Perkins το 1820. Τέσσερα χρόνια αργότερα ο Carnot πέτυχε τη θεωρητική της θεμελίωση. Ο Kelvin ήταν ο πρώτος που το 1852 διαπίστωσε στην πράξη ότι μία ψυκτική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση. Ωστόσο, πέρασε μία μακρά περίοδος που η λειτουργία της αντλίας θερμότητας θεωρήθηκε ασύμφορη. Μετά το 1950 άρχισαν πάλι να ασχολούνται με το θέμα και έγιναν πολλές βελτιώσεις στο σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου, οπότε οι αντλίες θερμότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκτεταμένα, ειδικά σε χώρες με ήπιο κλίμα. Τα τεράστια προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την ενεργειακή κρίση του 1973, στις βιομηχανικές κυρίως χώρες, είχε σαν αποτέλεσμα την προσεχτική επανεξέταση διατάξεων όπως η αντλία θερμότητας, με τις οποίες επιτυγχάνεται όχι μόνο εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας που είναι διάχυτη στη φύση. [8α]

3.1.1. Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στη θεωρητική αρχή της μηχανής του Carnot, με αντίθετη φορά. Για τη λειτουργία της μηχανής Carnot απαιτούνται, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, δύο θερμοδοχεία, ένα θερμοδοχείο υψηλής (T_1) και ένα χαμηλής θερμοκρασίας (T_2). Κατά τη λειτουργία της μηχανής αυτής έχουμε την παραγωγή έργου με πρόσδοση θερμότητας.



Σχήμα 3.1. Αρχή λειτουργίας του κύκλου Carnot

Σε ιδανικές συνθήκες πλήρους αντιστρεψιμότητας και χωρίς απώλειες θερμότητας, ο συντελεστής αποδόσεως του κύκλου αυτού δίδεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3.1)$$

Η αντιστροφή της λειτουργίας του παραπάνω κύκλου (σχήμα 3.1.) αποδίδει τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

Εδώ έχουμε την παραγωγή ψυκτικής (θερμαντικής) ισχύος με κατανάλωση μηχανικού έργου. Ο συντελεστής αποδόσεως της αντλίας θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες, ο οποίος χαρακτηρίζει και την ποιότητα της, δίδεται από το αντίστροφο του συντελεστή η , που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως **COP**:

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (3.2)$$

Ο ειδικός αυτός βαθμός απόδοσης (Coefficient of Performance) στην Τ.Ο. ΤΕΕ 2423 χαρακτηρίζεται με τον όρο “συντελεστής λειτουργίας” και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2,5 και 3,5.

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ο COP της αντλίας θερμότητας εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δύο θερμοδοχείων, ιδιότητα η οποία γενικεύεται και σε μη ιδανικές συνθήκες, όπου ο παραπάνω συντελεστής δίδεται από τη σχέση:

$$COP = \frac{Q_\theta}{Q_\theta - Q_\psi} \quad (3.3)$$

και αυτό λόγω της σημαντικής σχέσεως που προκύπτει από τον κύκλο Carnot:

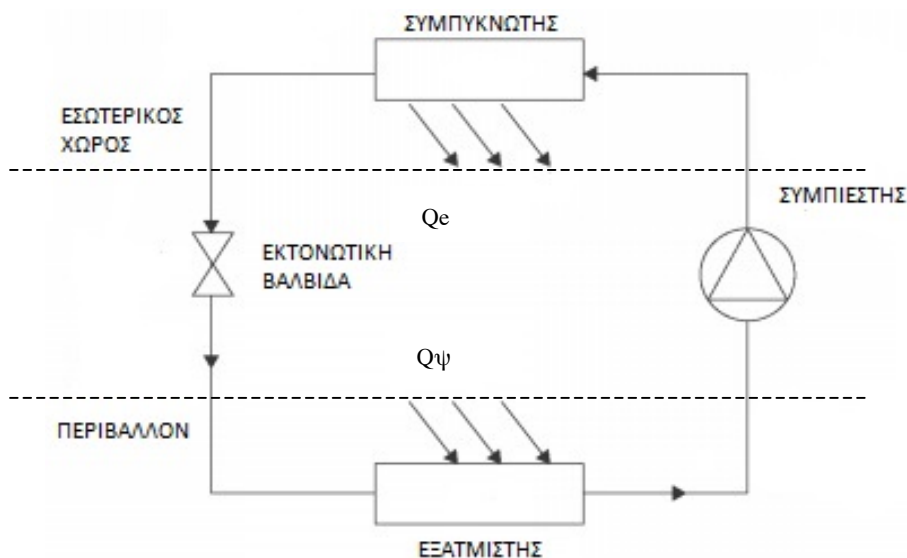
$$\frac{Q_\theta}{T_\theta} + \frac{Q_\psi}{T_\psi} = 0 \quad (3.4)$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι αποφασιστικής σημασίας στοιχεία που καθορίζουν το βαθμό απόδοσης και επομένως το κατά πόσον η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι συμφέρουσα οικονομικά, είναι η θερμοκρασία της πηγής από την οποία αντλείται η θερμότητα, η θερμοκρασία με την οποία αποβάλλεται η θερμότητα και το έργο που καταναλώνουμε. Έτσι, όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών, τόσο λιγότερο έργο καταναλώνουμε, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης (COP) της αντλίας θερμότητας. Το γεγονός αυτό κάνει την αντλία θερμότητας συμφερότερη οικονομικά σε χώρες με ήπια κλίματα.

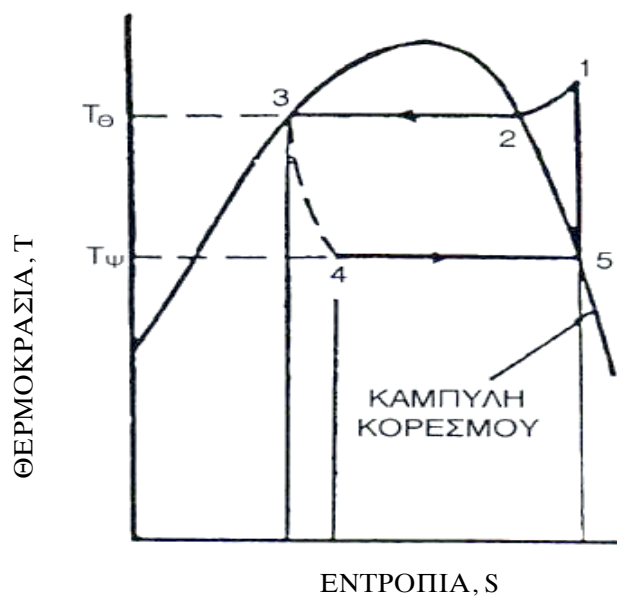
3.1.2 Θερμοδυναμική εξέταση αντλίας θερμότητας

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που αναφέρεται στη διαδοχική ατμοποίηση και υγροποίηση ενός ρευστού, αποτελεί τη αφετηρία μελέτης και λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Η διαδικασία λειτουργίας μοιάζει σημαντικά με την ανάδρομη μηχανή του Carnot. Η απλοποιημένη κατασκευαστική αρχή του κύκλου φαίνεται στο σχήμα

3.2. ενώ οι θερμοδυναμικές μεταβολές φαίνονται στο διάγραμμα εντροπίας του σχήματος 3.3. .



Σχήμα 3.2. Κατασκευαστική αρχή του κύκλου συμπίεσης ατμών.



Σχήμα 3.3. Εντροπικό διάγραμμα κύκλου συμπίεσης ατμών

Μεταβολή 1-2

Ο συμπιεσμένος και υπέρθερος ατμός εισέρχεται στον συμπυκνωτή, ψύχεται μέχρι την κατάσταση κορεσμού και αποδίδει θερμότητα. Η πίεση παραμένει σταθερή, ενώ έχουμε μικρή πτώση της θερμοκρασίας του ατμού.

Μεταβολή 2-3

Ο κορεσμένος ατμός που βρίσκεται μέσα στον συμπυκνωτή, αρχίζει να υγροποιείται υπό σταθερή πίεση, ενώ συγχρόνως αποδίδει τη μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.

Μεταβολή 3-4

Το υγροποιημένο ρευστό εγκαταλείπει τον συμπυκνωτή, περνάει από την εκτονωτική βαλβίδα και ελαττώνεται η πίεση του. Η μεταβολή αυτή είναι ισενθαλπική, μη αντιστρεπτή και συνοδεύεται από μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας.

Μεταβολή 4-5

Το υγρό εισέρχεται στον εξατμιστή, παίρνει θερμότητα από την ψυχρή πηγή και ατμοποιείται με σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Η αύξηση της ενθαλπίας είναι ισοβαρής.

Μεταβολή 5-1

Ο ατμός, που βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, εισέρχεται στον συμπιεστή. Με τη συμπίεση, η οποία θεωρητικά είναι ισεντροπική, ενώ στη πράξη περίπου ισεντροπική και αρκετά αδιαβατική, λόγω ταχύτητας, ανεβαίνει η θερμοκρασία, η ενθαλπία και η πίεση του ατμού.

3.1.3 Πραγματικός θερμοδυναμικός κύκλος

Οι αναγκαστικές τροποποιήσεις του θεωρητικού κύκλου είναι οι εξής:

- Επειδή υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστούν σταγόνες υγρού μέσα στον κύλινδρο συμπίεσεως, ο ατμός οδηγείται υπερθερμασμένος στο συμπιεστή
- Επειδή ο συμπιεστής δεν μπορεί να εκτελέσει μια καθαρή ισεντροπική συμπίεση, απαιτείται περισσότερο μηχανικό έργο. Το επί πλέον W' γίνεται θερμότητα που ανεβάζει τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού
- Στους εναλλάκτες θερμότητας, οι μεταβολές είναι θεωρητικά ισοβαρείς και ισόθερμες. Στην πράξη όμως, λόγω της ταχύτητας που διατηρείται αρκετά μεγάλη, υπάρχει πτώση πίεσεως
- Επειδή υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστεί ατμός πριν από την εκτονωτική βαλβίδα (από απρόβλεπτη θέρμανση ή πτώση πίεσεως), πρέπει οπωσδήποτε να γίνει απόψυξη του υγρού με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου ψύκτη.

3.1.4 Εναλλάκτες Θερμότητας και Απόδοση Αντλίας

Στην αντλία θερμότητας, η συναλλαγή θερμότητος μεταξύ δύο ρευστών πραγματοποιείται μέσω του συμπυκνωτή και του εξατμιστή. Οι εναλλάκτες, για να διακινήσουν θερμότητα, έχουν ανάγκη από μία διαφορά θερμοκρασίας ΔT , γεγονός που έχει δυσμενή επίδραση στον COP της αντλίας θερμότητας.

Οι διάφοροι βαθμοί απόδοσης καθορίζονται ως εξής:

$$- \quad \eta_{\text{ισ.}} = \frac{h_2 - h_5}{h_1 - h_5} \quad (3.5), \text{ ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως.}$$

$$- \quad COP' = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_5} \quad (3.6), \text{ Συντελεστής λειτουργίας κύκλου.}$$

- $COP = COP' \cdot \eta'$ (3.7), συντελεστής λειτουργίας αντλίας θερμότητας, όπου η' μηχανικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή.

- $COP = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi}$ (3.8), συντελεστής επιδόσεως θεωρητικού κύκλου

Carnot.

Ακόμη, η ποιότητα του ρευστού βάσει του διαγράμματος $P-h$ καθορίζεται από τη σχέση:

$$x_i = \frac{h_i - h_{il}}{h_{ig} - h_{il}}, \quad (3.9)$$

Το ίδιο ισχύει και για την εντροπία της θέσης που εξετάζεται.

3.1.5 Κατασκευαστικά Στοιχεία της Αντλίας Θερμότητας

Τα κύρια στοιχεία από τα οποία αποτελείται μία αντλία θερμότητας είναι τα παρακάτω:

- Εναλλάκτης θερμότητας (συμπυκνωτής, εξαεριστής)
- Συμπιεστής
- Κινητήρας
- Εργαζόμενο (ψυκτικό) ρευστό
- Στραγγαλιστική βαλβίδα
- Μηχανισμός αντιστροφής της λειτουργίας του κύκλου
- Αυτοματισμοί για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος

Εναλλάκτες Θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι απλές συσκευές συναλλαγής θερμότητας ανάμεσα σε δύο ρευστά. Τα δύο ρευστά χωρίζονται με ευθερμαγωγό τοίχωμα (από χαλκό, αλουμίνιο ή χάλυβα), το οποίο επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το λιγότερο θερμό ή ψυχρό. Για την αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής, χρησιμοποιούνται οφιοειδείς σωλήνες ή σωλήνες με πτερύγια. Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των ρευστών, έχουμε εναλλάκτες υγρού, υγρού αερίου-αερίου, υγρού-αερίου.

Συμπιεστής

Ο συμπιεστής εξασφαλίζει τη ροή του ψυκτικού ρευστού στο ψυκτικό κύκλωμα. Οι συμπιεστές διακρίνονται σε παλινδρομικούς, περιστροφικούς, φυγοκεντρικούς και κοχλιωτούς. Το ψυκτικό υγρό και οι θερμοκρασίες λειτουργίας που χρειάζονται για την άντληση της θερμότητας απαιτούν ένα συμπιεστή ικανό να δίνει μεγάλη διαφορά πίεσεως για μέσες τιμές παροχής. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι εμβολοφόροι (παλινδρομικοί) συμπιεστές, οι οποίοι πλεονεκτούν στην προσαρμογή σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και στην καλή ισεντροπική απόδοση. Αδυναμίες εμφανίζουν στη λίπανση και στις βαλβίδες, οι οποίες στραγγαλίζουν τη ροή και είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία.

Κινητήρας

Όλες οι μικρές και κάποιες από τις μεγάλες αντλίες θερμότητας, χρησιμοποιούν σήμερα ηλεκτρικούς κινητήρες για την κίνηση των συμπιεστών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν κινητήρες υγρών καυσίμων που διακρίνονται σε μηχανές εσωτερικής καύσεως και μηχανές με διάφορους κύκλους λειτουργίας. Τέλος, στον υπολογισμό του μεγέθους του κινητήρα, πρέπει να λαμβάνουμε υπ όψη μας το μέγιστο φορτίο συμπίεσεως και στη συνέχεια ένα περιθώριο ισχύος (περίπου 25%) για τον κινητήρα.

Ψυκτικό Ρευστό

Βασικό κριτήριο κατά την εκλογή του ψυκτικού ρευστού, είναι να υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του κρίσιμου σημείου και της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως. Ένα δεύτερο κριτήριο, που έχει σχέση με το είδος του συμπιεστή, είναι ο ειδικός όγκος του ρευστού στις συνθήκες λειτουργίας. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει επίσης να δοθεί στο γεγονός ότι η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου, που βρίσκεται στη βαλβίδα εξόδου του συμπιεστή, πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ασφαλείας του ρευστού. Τα σπουδαιότερα από τα κλασικά ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν κατ' αποκλειστικότητα μέχρι το έτος 1920 στη βιομηχανία ψύχους, είναι η αμμωνία, το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου.

Μηχανισμός αντιστροφής της λειτουργίας του κύκλου

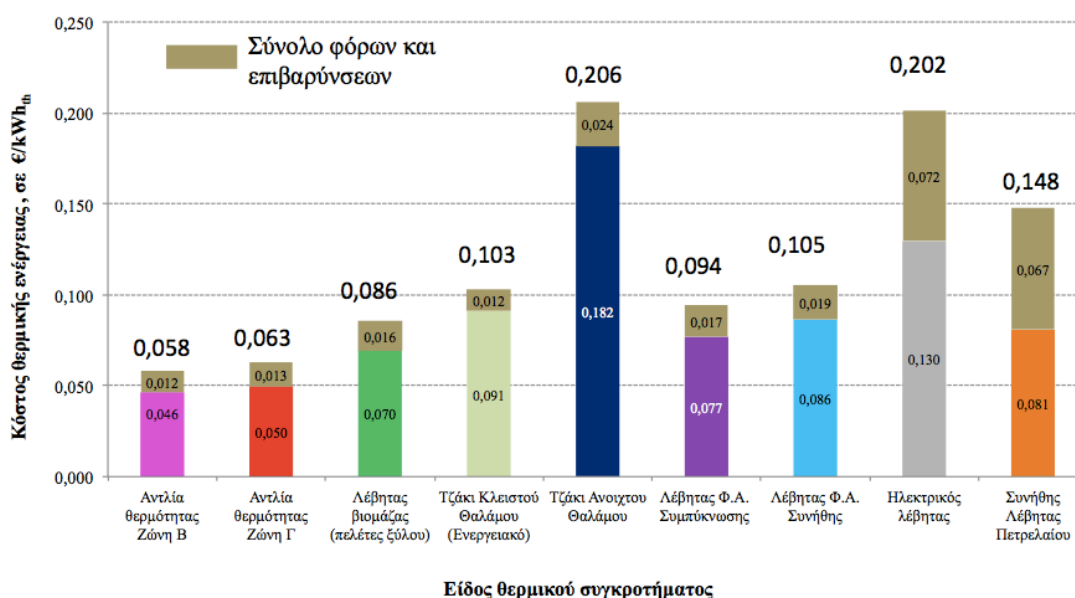
Η αντιστροφή της λειτουργίας βασίζεται σε βαλβίδες ελέγχου, οι οποίες μετατρέπουν τον εξατμιστή σε συμπυκνωτή και αντίστροφα. Συνήθως χρησιμοποιείται σωληνωτή βαλβίδα η οποία περιλαμβάνεται στο ψυκτικό κύκλωμα και επιτρέπει στην πίεση αναρροφήσεως να κινεί τα λειτουργικά στοιχεία.

Αυτοματισμοί

Είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία της αντλίας θερμότητας, να υπάρχουν οι κατάλληλοι αυτόματοι έλεγχοι. Είναι σημαντικό να ελέγχεται έτσι η παρουσία παγωμένου αέρα στον εξωτερικό εναλλάκτη κατά τον χειμώνα, όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 0° C . Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ελέγχου της αντλίας θερμότητας παρέχει αυτόματη απόψυξη του σπειρώματος του εξωτερικού εναλλάκτη. Υπάρχουν επίσης θερμοστάτες που ελέγχουν τόσο τη θέρμανση όσο και την ψύξη. Ο θερμοστάτης του τμήματος της αντλίας θερμότητας που βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον ελέγχει την εξωτερική θερμοκρασία και ενεργοποιεί τον ανάλογο αριθμό βοηθητικών ηλεκτρικών αντιστάσεων σε περίπτωση που η θερμοκρασία αυτή πέσει κάτω από το σημείο ισορροπίας του χώρου.

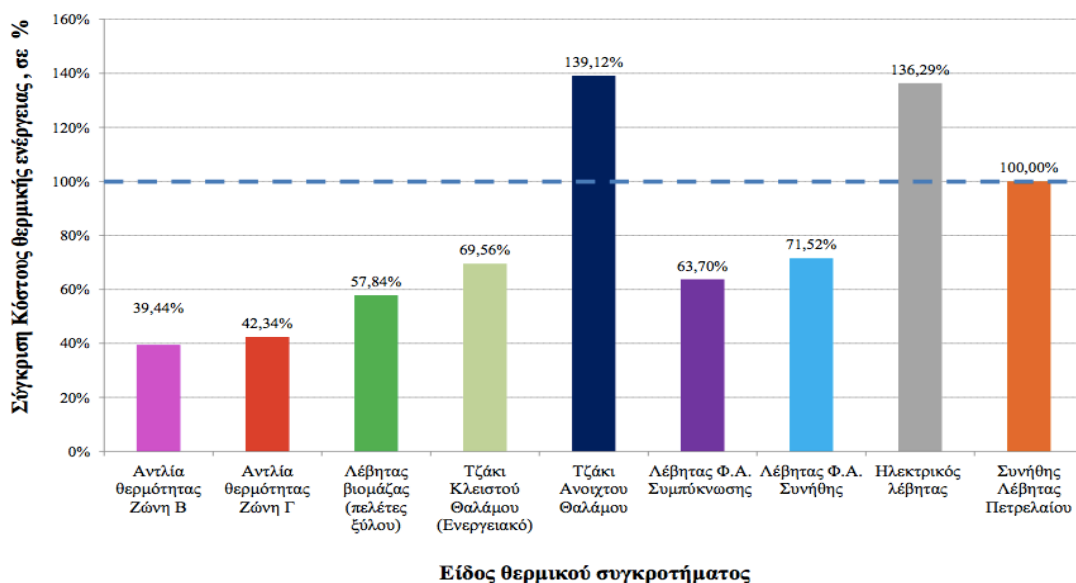
3.2- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος. Στο Διάγραμμα αυτό εμφανίζεται το κόστος της θερμότητας σε €/kWh_{th}, ενώ σε αυτό προστίθεται και η φορολόγηση και οι επιπλέον επιβαρύνσεις αναλόγως με το είδος καυσίμου ή την χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Από το καθαρό κόστος και τη φορολόγηση προκύπτει, στο ίδιο διάγραμμα, και η συνολική τιμή κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας. [c]



Διάγραμμα 1: Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος.

Στο Διάγραμμα 2, συγκρίνεται το συνολικό κόστος της θερμικής ενέργειας των διαφόρων ειδών θερμικού συγκροτήματος με ένα συνήθη λέβητα πετρελαίου. Για τη σύγκριση αυτή έχει θεωρηθεί τιμή πετρελαίου στον καταναλωτή ίση με 1,285€/lt.



Διάγραμμα 2: Σύγκριση Κόστους θερμικής ενέργειας από κάθε είδος θερμικού συγκροτήματος με κόστος από συνήθη Λέβητα Πετρελαίου (για τιμή πετρελαίου ~1,285€/λίτρο).

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και με τη μορφή πίνακα (Πίνακα 1). Στον πίνακα αυτόν παρατίθενται ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) ή ο βαθμός απόδοσης της κάθε τεχνολογίας (ως προς την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα) καθώς επίσης και το κόστος αγοράς καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας από τον καταναλωτή.

Είδος θερμικού συγκροτήματος	Βαθμός απόδοσης/ συντελεστής συμπεριφοράς	Κόστος αγοράς καυσίμου-ηλ. ενέργειας	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh _{th}	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh, tax free	Σύγκριση Κόστους θερμικής ενέργειας σε % με Συνήθη Λέβητα Πετρελαίου
Αντλία θερμότητας Ζώνη Β	3,00	*	0,058	0,046	39,44%
Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ	2,75	*	0,063	0,050	42,34%
Λέβητας βιομάζας (πελέτες ξύλου)	0,75	320€/tn	0,086	0,070	57,84%
Τζάκι Κλειστού Θαλάμου (Ενεργειακό)	0,50	200€/tn	0,103	0,091	69,56%
Τζάκι Ανοικτού Θαλάμου	0,25	200€/tn	0,206	0,182	139,12%
Λέβητας Φ.Α. Συμπύκνωσης	0,98	0,0923€/kWh _{th} **	0,094	0,077	63,70%
Λέβητας Φ.Α. Συνήθης	0,87	0,0923€/kWh _{th} **	0,106	0,086	71,52%
Ηλεκτρικός λέβητας	1,00	*	0,202	0,130	136,29%
Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου	0,87	1,285€/lt	0,148	0,081	100,00%

Πίνακας 1: Αποτελέσματα υπολογισμών κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

*Η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας έγινε σύμφωνα με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ, χωρίς χρονοχρέωση (Τιμολόγιο Γ1): Θεωρείται 3φασική παροχή ρεύματος χωρίς νυκτερινό τιμολόγιο. Επίσης, θεωρείται ότι η τυπική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μιας ανεξάρτητης κατοικίας είναι περί τις 800 kWh_e ανά τετράμηνο. Επομένως, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των θερμικών αναγκών αυτής

θα τιμολογείται με κόστος που αντιστοιχεί σε κλίμακα μεγαλύτερη από τις 800 kWh_e ανά τετράμηνο.

** Ο υπολογισμός του κόστους ενέργειας Φ.Α. έχει υπολογισθεί με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (Lower Heating Value, LHV). Το κόστος ενέργειας Φ.Α. με βάση την ανώτερη θερμογόνο ικανότητα, όπως αυτό παρουσιάζεται στα τιμολόγια (Higher Heating Value, HHV) είναι 0,0832 €/kWh_{th}. Το υπολογιζόμενο κόστος προκύπτει για μια κατανάλωση 2000 kWh_{th} ανά τετράμηνο.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

Θεωρήθηκε πετρέλαιου θέρμανσης, το οποίο, σύμφωνα με τις προαναφερθείσες πηγές, στις 28/12/2012 είχε μέση τιμή αντλίας – λιανική τιμή 1,285 €/lt, ή 0,1281 €/kWh_{th} (Θερμογόνος ικανότητα πετρελαίου 10150 kcal/kg και πυκνότητα 0,85kg/lt). Η τιμή αυτή προκύπτει από την τιμή διυλιστηρίου (0,630 €/lt), το περιθώριο κέρδους της εταιρίας-πρατηριούχου είναι 0,072 €/lt, ενώ οι φόροι και δασμοί ανέρχονται στα 0,583 €/lt. Η ανάλυση του κόστους του πετρελαίου καθώς επίσης και των φόρων και δασμών για 1000 λίτρα πετρελαίου φαίνονται στον Πίνακα 2:

Τιμή διυλιστηρίου	€ 630,48
Ειδική εισφορά 1,2%	€ 7,57
ΡΑΕ	€ 0,21
ΔΕΤΕ 0,5%	€ 4,80
ΕΦΚ	€ 330,00
Περιθώριο Πρατηριούχου/εταιρείας	€ 71,66
Λιανική Τιμή προ ΦΠΑ	€ 1044,72
ΦΠΑ 23%	€ 240,28
Τιμή Αντλίας - Λιανική Τιμή	€ 1285,00

Πίνακας 2: Κοστολόγηση για 1000L πετρελαίου θέρμανσης με μέση τιμή αντλίας 28/12/2012.

Φυσικό Αέριο: Για την κοστολόγηση του φυσικού αερίου λήφθηκαν στοιχεία από την Φυσικό αέριο Αττικής (Εταιρεία Παροχής Αερίου Αττικής ΑΕ [19]).

Έτσι θεωρήθηκε το οικιακό τιμολόγιο- τιμολογήσεις 2012, με μέση τιμή χρέωσης ισχύος 6,36 €/60μέρες και χρέωση ενέργειας 0,0776 €/kWh_{th,HHV}. Στις τιμές αυτές λαμβάνονται υπόψη οι φόροι ΦΠΑ (13%) και το ΔΕΤΕ (0,5%) για τη χρέωση ισχύος, ενώ στη χρέωση ενέργειας λαμβάνονται υπόψη οι φόροι: ΦΠΑ (13%), ΕΦΚ και ΔΕΤΕ (0,5%).

Η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου θεωρήθηκε σύμφωνα με την ΕΠΑ Αττικής ΑΕ ίση με HHV=11,61kWh/Nm³.

Ηλεκτρική ενέργεια: Θεωρείται οικιακό τιμολόγιο χωρίς χρονοχρέωση (Τιμολόγιο Γ1) 3φασική παροχή ρεύματος χωρίς νυκτερινό τιμολόγιο. Επίσης, θεωρείται ότι η τυπική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μιας ανεξάρτητης κατοικίας είναι περί της 800kWh_e ανά τετράμηνο. Επομένως, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των θερμικών αναγκών αυτής θα τιμολογείται με κόστος που αντιστοιχεί σε κλίμακα μεγαλύτερη από τις 800 kWh_e ανά τετράμηνο. [I3]

Θεωρήθηκε συνολική παραγόμενη θερμική ισχύς ίση με 2000 kWh_{th} το τετράμηνο. Έτσι στην περίπτωση π.χ. της αντλίας θερμότητας με συντελεστή συμπεριφοράς COP=3, θα καταναλωθεί ηλεκτρική ενέργεια ίση με 2000/3=666,67kWh_e. Συνεπώς, η κατανάλωση ρεύματος για θέρμανση σε αυτή την περίπτωση εμπίπτει στην κατηγορία συνολικής τετραμηνιαίας κατανάλωσης 1001-2000 kWh_e, αφού θεωρείται ότι οι πρώτες 800kWh_e είναι για τις υπόλοιπες ανάγκες της κατοικίας. Στον ηλεκτρικό λέβητα, όπου θεωρήθηκε βαθμός απόδοσης ίσος με 1, για την αντίστοιχη παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας, χρειάζονται 2000kWh_e. Έτσι η κατανάλωση ρεύματος για θέρμανση σε αυτή την περίπτωση εμπίπτει στην κατηγορία συνολικής τετραμηνιαίας κατανάλωσης μεγαλύτερη από 2000 kWh_e

Οι χρεώσεις της ΔΕΗ σύμφωνα με το τιμολόγιο Γ1 για τις τρεις τεχνολογίες θέρμανσης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια φαίνονται στον Πίνακα 3.

	Αντλία θερμότητας		Ηλεκτρικός λέβητας
Βαθμός απόδοσης / Συντελεστής Συμπεριφοράς (-)	3	2,75	1
Τετραμηνιαία κατανάλωση χωρίς θέρμανση (kWh _e)	800	800	800
Τετραμηνιαία κατανάλωση λόγω θέρμανσης (kWh _e)	666,67	727,27	2000
Συνολική Τετραμηνιαία κατανάλωση κατοικίας (kWh_e)	1466,67	1527,27	2800
Χρέωση Ενέργειας (Ανταγωνιστικές Χρεώσεις) (€/kWh _e)	0,0815	0,0815	0,09155
Χρέωση Ενέργειας (Δίκτυο Μεταφοράς) (€/kWh _e)	0,00605	0,00605	0,00605
Λοιπές Επιβαρύνσεις (Δίκτυο Μεταφοράς) (€/kWh _e)	0,00046	0,00046	0,00046
Χρέωση Ενέργειας (Δίκτυο Διανομής) (€/kWh _e)	0,0217	0,0217	0,0217
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€/kWh _e)	0,00699	0,00699	0,03987
Τέλος ΑΠΕ (€/kWh _e)	0,00599	0,00599	0,00599
Σύνολο (€/kWh_e)	0,12269	0,12269	0,16562

Πίνακας 3: Χρεώσεις ηλεκτρικής ενέργειας

Σε αυτές τις χρεώσεις, προστέθηκε η χρέωση ισχύος για το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο διανομής, για 40 kW_e ισχύ, ενώ το πάγιο λόγω τριφασικού ρεύματος χρεώθηκε στο ήμισυ στις καταναλώσεις λόγω θερμότητας. Στις παραπάνω χρεώσεις

προστέθηκαν οι εξής φόροι: ΕΦΚ Ν.3336/05= 0,0022EURO/kWh_e, 5%ο ΕΙΔ. ΤΕΛ. Ν. 2093/92 13%ΦΠΑ.

Τέλος για τις αντλίες θερμότητας θεωρήθηκαν ότι είναι αντλίες 16kW με Max LW 75°C EW 65°C Min LW 65°C EW 55°C, ενώ για τη ζώνη Β θεωρήθηκε το κλίμα της Αθήνας, ενώ για τη ζώνη Γ της Αλεξανδρούπολης.

Βιομάζα: Για τις πελέτες και για τα καυσόξυλα θεωρήθηκε ΦΠΑ 23% και 13% αντίστοιχα.

Πελέτες ξύλου: Τιμή αγοράς καυσίμου (Συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ): 0,32 €/Kg ή 0,0640 €/kWh_{th}. Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα 18 MJ/kg.

Καυσόξυλα: Τιμή αγοράς καυσίμου (Συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ): 0,20 €/Kg ή 0,0514 €/kWh_{th}. Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα 14 MJ/kg.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4– ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

4.1 – Κατηγοριοποίηση ψυκτικών ρευστών

Ως ψυκτικό ρευστό ορίζουμε το ρευστό που διαθέτει τις κατάλληλες θερμοδυναμικές ιδιότητες ώστε να μπορεί να αποτελέσει μέσο μεταφοράς θερμότητας σε ένα ψυκτικό κύκλο με συμπίεση κι εκτόνωση. Οι απαιτήσεις της τεχνολογίας ψύξεως ανάγκασαν τους ερευνητές να διαμορφώσουν ποικιλία μηχανών (δросισμού, ψύξεως, καταψύξεως κ.τ.λ.) που λειτουργούν με διάφορα συστήματα κι επομένως απαιτούν ψυκτικό ρευστό κατάλληλων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Το σύνολο των απαιτήσεων και των προδιαγραφών που πρέπει να πληροί ένα ρευστό, για να ενδείκνυται η χρήση του σε ψυκτικό κύκλο είναι: [7a]

1. Υψηλή θερμότητα ατμοποίησης, ώστε το ψυκτικό αποτέλεσμα ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου ρευστού να είναι σημαντικό.
2. Θερμοφυσικές ιδιότητες που να εμποδίζουν την ατμοποίηση του ρευστού κατά τον σταγγαλισμό, ο οποίος δεν συμβάλλει στην ψυκτική ικανότητα του κύκλου.
3. Το κρίσιμο σημείο να βρίσκεται αισθητά πάνω από τη θερμοκρασία λειτουργίας του συμπυκνωτή του κύκλου.
4. Η πίεση ατμών στον συμπυκνωτή να μην είναι υψηλή, γιατί τότε αυξάνει το κόστος κατασκευής και συντήρησης του ψυκτικού κύκλου.
5. Η πίεση ατμών στον εξατμιστή να είναι υψηλότερη από την ατμοσφαιρική. Έτσι, σε περίπτωση διατήρησης των τοιχωμάτων του εξατμιστή, δεν θα υπάρχει τάση διαρροής του ψυκτικού στην ατμόσφαιρα, αλλά διείσδυση ατμοσφαιρικού αέρα στο ψυκτικό.
6. Το κανονικό σημείο βρασμού να είναι σχετικά χαμηλό, διότι έτσι παρέχεται η δυνατότητα λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου σε σχετικά χαμηλές πιέσεις.

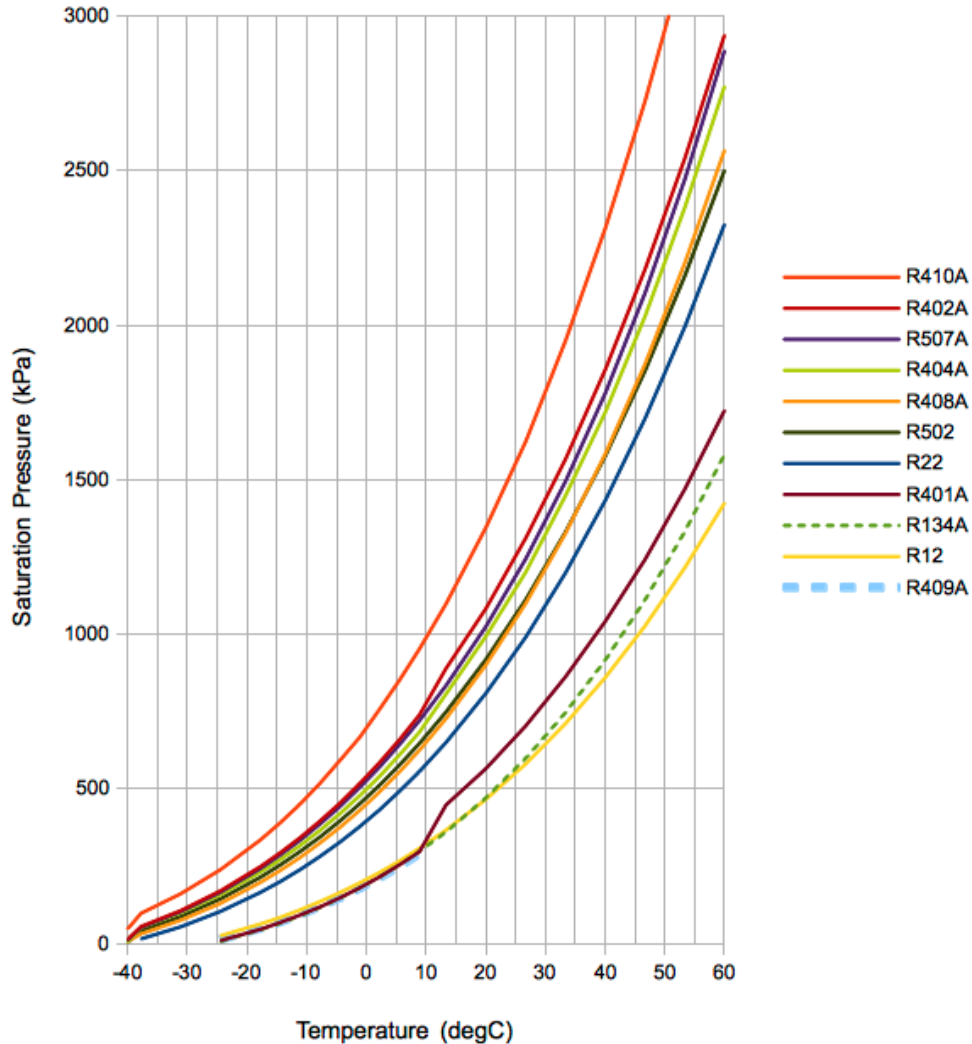
Πέρα όμως από τις θερμοδυναμικές ιδιότητες, θα πρέπει να τηρούνται κάποιοι βασικοί κανόνες που αφορούν την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και το χαμηλό κόστος του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ Να μην υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς και δημιουργίας ανθυγιεινών συνθηκών.
- ✓ Να μην αλλοιώνεται και γενικά να παραμένει χημικώς σταθερό κατά τη διάρκεια των διεργασιών στις οποίες υπόκειται.
- ✓ Να μην αντιδρά χημικώς με τα μέταλλα ή τα κράματα μετάλλων με τα οποία έρχεται σε επαφή.
- ✓ Να είναι οικονομικό, δηλαδή το κόστος προμήθειας του να είναι χαμηλό.

Μερικά από τα πιο χρησιμοποιούμενα ρευστά χλωροφθορανθράκων και υδροφθορανθράκων (οικολογικό), με την κοινή ονομασία FREON R- , με το R να είναι το αρχικό της λέξης Refrigerant δηλαδή ψυκτικό, αναφέρονται στο παρακάτω διάγραμμα που μας δείχνει την άμεση εξάρτηση της θερμοκρασίας που επικρατεί με τη πίεση του ρευστού, η οποία είναι εκθετική.

Refrigerants

Temperature Saturation Pressure Chart



Διάγραμμα 4.1.: Διάγραμμα T-p διάφορων ψυκτικών ρευστών

Το πιο συνηθισμένο ψυκτικό ρευστό πλέον στις μέρες μας είναι το R410, με ευρεία χρήση στις κλιματιστικές μονάδες, αντλίες θερμότητας, επαγγελματικά ψυγεία κ.ο.κ.. Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται σύγκριση βασικών θερμοδυναμικών ιδιοτήτων μεταξύ των πιο σημαντικών ψυκτικών ρευστών. Ιστορικά, το Freon 22 ή R22 (Χλώριο-διφθόριο-μεθάνιο) διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των κλιματιστικών μονάδων τις προηγούμενες δεκαετίες, όμως λόγω του προβλήματος που αποδείχτηκε πως προξενούν αυτά τα ρευστά στο όζον ως χλωροφθοράνθρακες, αντικαταστάθηκαν με υδροφθοράνθρακες όπως ήταν το R407C.

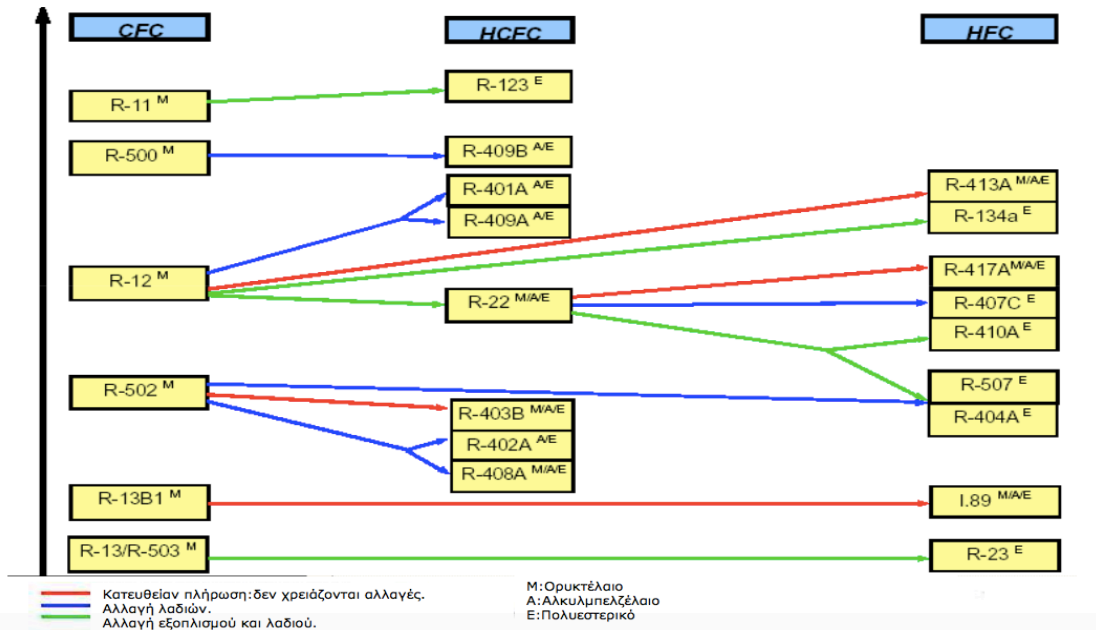
Theoretical performance of refrigerants in ASHRAE LBP conditions

	R-22	R407C	R410A	R290	R152a	SR-20f	SR-20h	SR-20j
Cond. Mid Temp. (°C)	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4
Cond. Mid Press. (P _c) (kPa)	2141	2316	3350	1883	1312	2142	2161	2125
Inlet (Vapor) Temp. (°C)	54.4	56.66	54.46	54.4	54.4	54.45	54.41	54.66
Outlet (Liquid) Temp. (°C)	54.4	52.12	53.41	54.4	54.4	54.35	54.39	54.16
Cond. Temp. Gradient (°C)	0	4.54	0.15	0	0	0.1	0.02	0.5
Evap. Mid Temp. (°C)	7.2	7.2	7.2	7.2	-23.3	7.2	7.2	7.2
Evap. Mid Press. (P _e) (kPa)	621.8	635	996.5	587.5	104.6	680.2	680.5	670.2
Inlet (Liquid + Vapor) Temp. (°C)	7.2	4.8	7.14	7.2	-23.3	7.25	7.21	6.95
Outlet (Vapor) Temp. (°C)	7.2	9.6	7.26	7.2	-23.3	7.15	7.19	7.45
Evap. Temp. Gradient (°C)	0	4.8	0.12	0	0	0.10	0.02	0.50
Pressure Ratio (P _c /P _e)	3.44	3.67	3.36	3.21	12.54	3.15	3.17	3.17
Discharge Temp. (°C)	100.9	94.2	102.2	83.8	137.6	88.6	87.2	86.6
Suction Gas Density (kg/m ³)	23.07	23.24	31.7	11.12	2.778	12.69	15.09	14.3
Volumetric Capacity (kJ/m ³)	3908.0	4063.1	5905.7	3420.5	192.5	3875.5	3838.0	3782.0
Evaporation Capacity (kJ/kg)	169.4	174.8	186.3	307.6	69.3	305.4	254.4	264.5
COP (W/W)	4.80	4.76	4.59	4.91	2.69	4.82	4.76	4.78

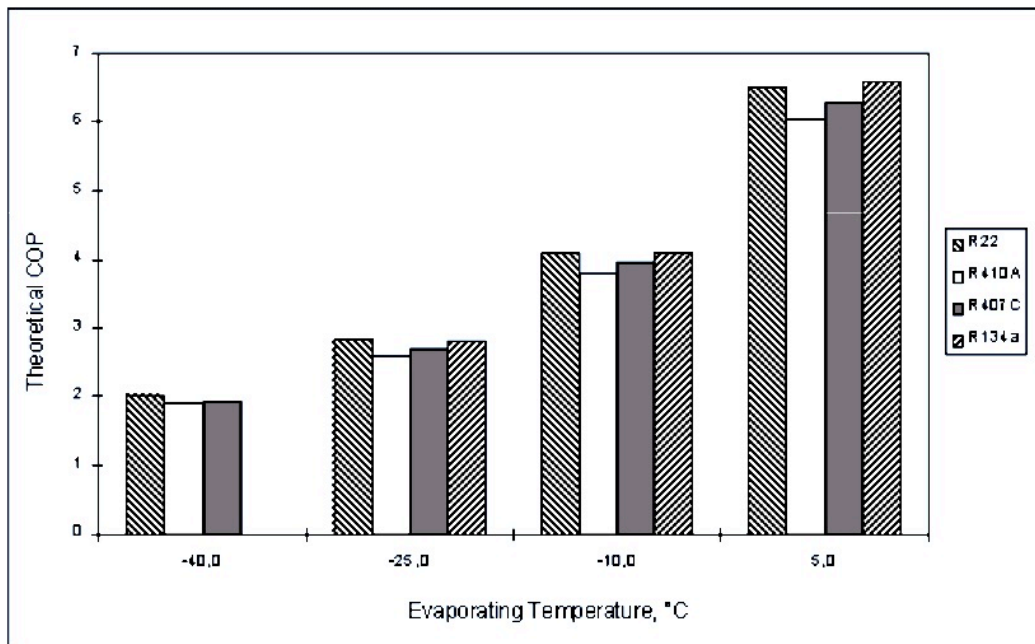
Πίνακας 4.1.: Σύγκριση θερμοδυναμικών ιδιοτήτων συνηθισμένων ψυκτικών ρευστών.

Εν συνεχεία το R407C αντικαταστάθηκε με το R410, το οποίο έχει μεγαλύτερη απόδοση. Το πρόβλημα που προέκυψε εντοπίζεται κυρίως στο κατασκευαστικό κομμάτι, λόγω του ότι για ίδιες θερμοκρασίες το R410 παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη πίεση. Επομένως, κατασκευαστικά, έπρεπε να δημιουργηθούν εξαρτήματα(σωληνώσεις, συμπιεστές κ.τ.λ.) με μεγαλύτερη αντοχή λόγω μεγαλύτερης πίεσης.

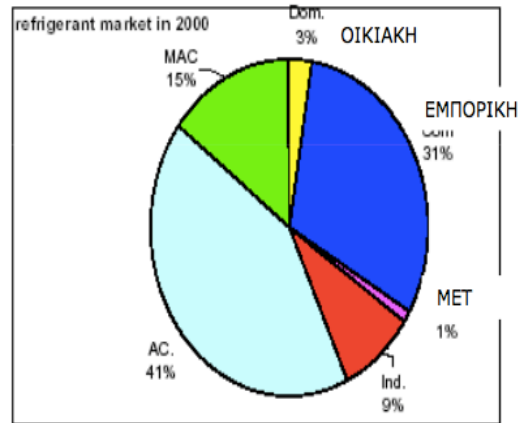
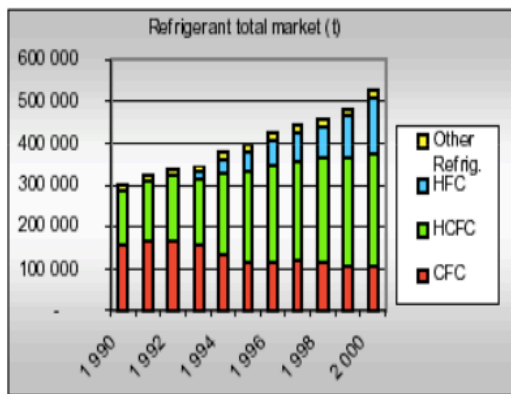
Η διάσπαση του όζοντος στην ατμόσφαιρα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου που είχαν ως συνέπεια την υπερθέρμανση του πλανήτη οδήγησαν τους ερευνητές στην αντικατάσταση ορισμένων ψυκτικών ρευστών που ήταν στην ομάδα των χλωροφθορανθράκων με εκείνα των υδροχλωροφθορανθράκων και πλέον σήμερα με υδροφθοράνθρακες. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η αντικατάσταση των ρευστών κι οι οποίες αλλαγές πρέπει να πραγματοποιηθούν στο εξοπλισμό των ψυκτικών μηχανών για να μπορέσει να γίνει η αλλαγή. Έτσι μερικά ρευστά μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς καμία αλλαγή κι άλλα χρειάζονται απλά αλλαγή λαδιών κι άλλα λαδιών κι εξοπλισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης αποτελεί η αντικατάσταση του R22 με το R410A.



Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα απεικόνισης αντιστοίχισης αντικατάστασης παλαιών απαγορευμένων και νέων οικολογικών ψυκτικών ρευστών.



Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα απεικόνισης απόδοσης ψυκτικών ρευστών συναρτήσει της θερμοκρασίας εξάτμισης.



Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα απεικόνισης χρήση διάφορων ψυκτικών στην πάροδο του χρόνου και ανά κατηγορία εγκατάστασης.

4.2- Ειδική αναφορά στο ψυκτικό ρευστό του συστήματος μελέτης R-410A

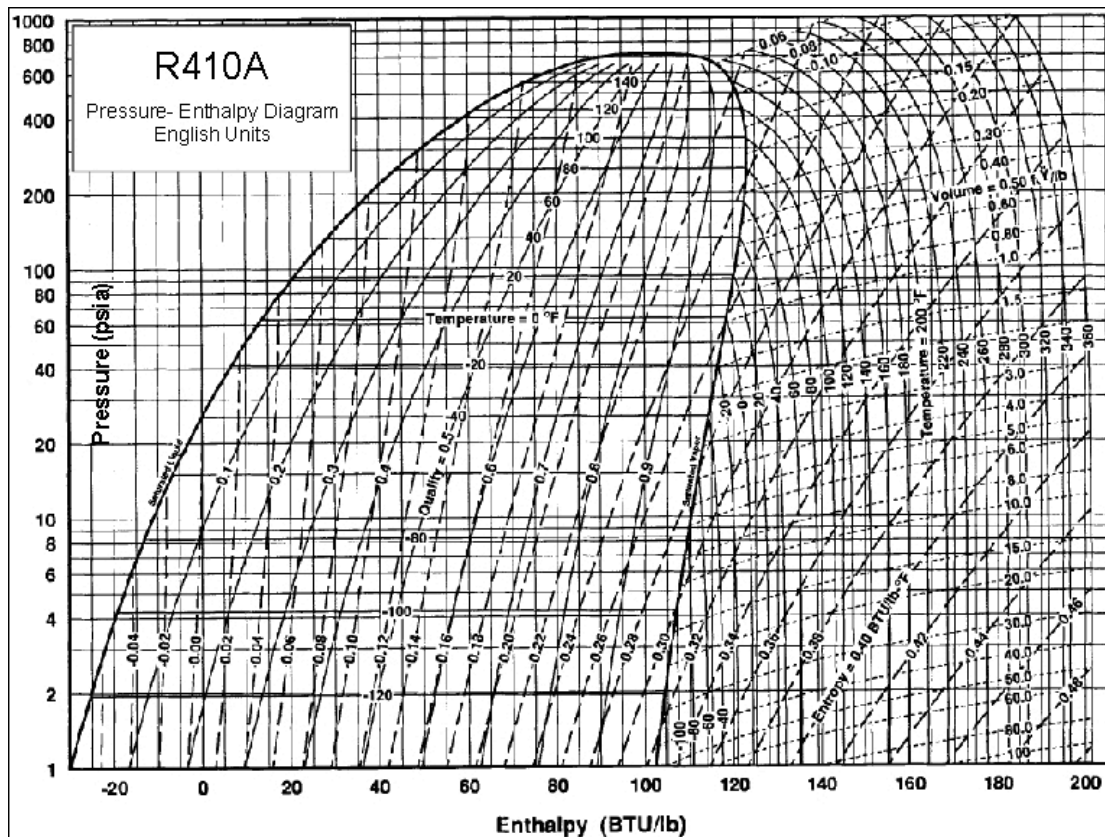
Το R410A είναι ένα αζεοτροπικό ψυκτικό ρευστό (μείγμα) αποτελούμενο από: 50% R32, και 50% R125- $\text{CH}_2\text{F}-\text{CHF}_2-\text{CF}_3$

Με μεγαλύτερη απόδοση έναντι των άλλων υγρών αλλά λειτουργεί σε πολύ υψηλές πιέσεις στη συμπίκνωση του (+9bar σε σύγκριση με το R22.) κι έχει χαμηλή διολίσθηση.[I],[II]

Η συνεισφορά του ρευστού στη διάσπαση του όζοντος είναι O.D.P.=0 και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (δυναμική συνεισφορά στην παγκόσμια θέρμανση) G.W.P=1975.

- Το R410A δεν είναι ακριβές αντικατάστατο του R-22 γιατί λειτουργεί σε πολύ μεγαλύτερες πιέσεις +60% απ' ότι το R-22. Ωστόσο έχει +5% αποδόση από το R-22 και +10% από τα υγρά 417, 407C.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξοπλισμό που κατασκευάστηκε αρχικά για χρήση με R-22.
- Οι μεταγίσεις θα πρέπει πάντα να πραγματοποιούνται από την υγρή φάση.
- Όλος ο εξοπλισμός διαφοροποιείται λόγω υψηλών πιέσεων του υγρού. (Γραμμές πλήρωσης, μανόμετρα, ειδικοί adaptors προς την κλιματιστική μονάδα....)

Επομένως επιλέγεται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας το ψυκτικό ρευστό R-410A.



Διάγραμμα 4.5.: Διάγραμμα h-p ψυκτικού ρευστού R410A (Διάγραμμα Mollier)

Το διάγραμμα πίεση-ενθαλπίας ή αλλιώς διάγραμμα Mollier είναι μοναδικό για κάθε ρευστό κι απεικονίζει τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού κάθε στιγμή. Πιο συγκεκριμένα μέσω του απεικονιζόμενου διαγράμματος μπορεί να καθοριστεί η φάση του ρευστού (κορεσμένος ατμός, κορεσμένο υγρό, υγρό, αέριο, υπέρθερος ατμός κ.ο.κ), η πίεση, η θερμοκρασία, ο όγκος, η πυκνότητα, η ενθαλπία, η εντροπία κι η ποιότητα του ρευστού. [10a]

Χαρακτηριστική είναι η καμπύλη τύπου καμπάνας (καμπύλη ισοροπίας) που ξεχωρίζει στο διάγραμμα, εντός της οποίας συνυπάρχει υγρό-ατμός καθοριζόμενο σε σύσταση από την ποιότητα, η οποία ορίζεται από τα θερμοδυναμικά στοιχεία της ενθαλπία ή εντροπίας για κάθε θέση.

$$x_i = \frac{h_i - h_{il}}{h_{ig} - h_{il}} = \frac{s_i - s_{il}}{s_{ig} - s_{il}}, \quad (4.1)$$

Το ανώτερο σημείο της καμπάνας είναι το κρίσιμο σημείο του ρευστού, όπου αποτελεί το τελευταίο σημείο συνύπαρξης υγρού-αερίου. Πάνω από αυτό το σημείο δε συνυπάρχουν ξανά οι δυο φάσεις.

Στο κρίσιμο σημείο για το R410A ισχύει:

$$T_c = 72,13^{\circ}\text{C} \quad P_c = 4926,1 \text{ kPa} \quad D_c = 488,90 \text{ kg/m}^3 \quad V_c = 0,00205 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Ιδιότητα	Τιμή
Τύπος	50% CH ₂ F ₂ /50% CHF ₂ CF ₃
Μοριακό Βάρος (Da)	72.6
Σημείο Τήξης (°C)	-155
Σημείο Βρασμού (°C)	-48.5
Πυκνότητα Υγρού (30°C),	1040
Πυκνότητα Ατμού (30°C),	3.0
Πίεση Ατμοποίησης at 21.1°C	1.383
Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)	72.8
Κρίσιμη πίεση, Μρα	4.86
Θερμοχωρητικότητα Αερίου	0.84
Θερμοχωρητικότητα Υγρού	1.8

Πίνακας 4.2.: Πίνακας απεικόνισης βασικών ιδιοτήτων ρευστού

Βασικές εξισώσεις θερμοδυναμικής ανάλυσης ρευστού όπως αυτές παρουσιάζονται από την εταιρεία παρασκευής Du Pont. [I] :

Ιξώδες κορεσμένου υγρού (μPa·s) (-50°C to 70°C)

$$\mu = 166 - 2,25T + 1,81 \cdot 10^{-2}T^2 - 9,2 \cdot 10^{-5}T^3 \quad (4.2)$$

Θερμοχωρητικότητα υγρού J/g °C (-40°C to 50°C)

$$C_p = 1,603 + 5,727 \cdot 10^{-3}T + 9,903 \cdot 10^{-5}T^2 + 1,855 \cdot 10^{-6}T^3 \quad (4.3)$$

Ιξώδες κορεσμένου ατμού $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ (-20°C to 70°C)

$$\mu = 12,10 + 8,33 \cdot 10^{-2T} + 1,47 \cdot 10^{-4T^2} - 4,67 \cdot 10^{-5T^3} + 1,08 \cdot 10^{-6T^4} \quad (4.4)$$

Ιξώδες ατμού στη 1 atm $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ (-30°C to 120°C)

$$\mu = 11,70 + 3,98 \cdot 10^{-2T} \quad (4.5)$$

Θερμική αγωγιμότητα κορεσμένου υγρού $\text{mW}/\text{m}^\circ\text{C}$ (-50°C to 70°C)

$$k = 100,1 - 0,471 \cdot T + 6,86 \cdot 10^{-4T^2} - 1,29 \cdot 10^{-5T^3} \quad (4.6)$$

Θερμική αγωγιμότητα κορεσμένου ατμού $\text{mW}/\text{m}^\circ\text{C}$ (-20°C to 70°C)

$$k = 12,94 + 8,85 \cdot 10^{-2T} - 8,14 \cdot 10^{-4T^2} + 5,29 \cdot 10^{-5T^3} \quad (4.7)$$

Θερμική αγωγιμότητα ατμού στη 1 atm $\text{mW}/\text{m}^\circ\text{C}$ (-30°C to 120°C)

$$k = 11,54 + 7,41 \cdot 10^{-2T} \quad (4.8)$$

Ενθαλπία υγρής φάσης, λανθάνουσα και εντροπία υγρής φάσης

$$h_i = A + BX + CX^2 + DX^3 + EX^4 + FX^5, \text{ kJ/kg} \quad (4.9)$$

$$\text{όπου } X = (1 - T_r)^{1/3} - X_0, \quad T_r = T/T_c \quad (4.10)$$

$$h_{lg} = h_l - h_g \quad (4.11)$$

$$s_l = s_g - ([h_g - h_l]/T), \text{ kJ/kg K} \quad (4.12)$$

$$A = 2,211749 \cdot 10^2 \quad B = -5,149668 \cdot 10^2 \quad C = -6,316250 \cdot 10^2 \quad D = -2,622749 \cdot 10^2$$

$$E = 1,052000 \cdot 10^3 \quad F = 1,596000 \cdot 10^3 \quad X_0 = 5,541498 \cdot 10^{-1}$$

$$T_c = 72,13^\circ\text{C} \quad \text{θερμοκρασία κρίσιμου}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1. Νομοθετικό πλαίσιο

5.1.1. Εισαγωγή. Ιστορική αναδρομή.

Το πρώτο ηλιακό κελί ανακαλύφθηκε στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin , Fuller και Pearson** με απόδοση περίπου στο 6% .Φυσικά μια τεχνολογία ,σε πρωϊμό στάδιο τότε ,αναπτύχθηκε κατά πολύ τον 20⁰ αιώνα με πολλές εφαρμογές κυρίως από μεγάλες ερευνητικές μονάδες και τη NASA ,καθώς ήταν μια ακριβή τεχνολογία για συμβατική χρήση.[Π1-14]

Παρ' όλα αυτά στις αναπτυγμένες οικονομίες (Γερμανία, Σουηδία, Ισπανία, Η.Π.Α. κ.ό.κ.) δόθηκαν κίνητρα από τις εκάστοτε κυβερνήσεις ώστε μια τόσο ακριβή τεχνολογία να γίνει προσιτή κι αιχμή του δόρατος για τις οικονομίες τους. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση πρωτοπόρος στα Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η Γερμανία ,της οποίας η συνολική απορροφούμενη ενέργεια στο δίκτυο από ΦΒ έφτασε το 16% ξεπερνώντας για πρώτη φορά τα αιολικά που έφτασαν το 13%.

Δυστυχώς, για άλλη μια φορά, ακολουθώντας και μη οδηγώντας τις εξελίξεις, στην Ελλάδα, μια χώρα με σχεδόν διπλάσια ηλιοφάνεια από εκείνη των βόρειων χωρών (π.χ. Γερμανία ,Σουηδία κ.ό.κ.) η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έκανε αισθητή την παρουσία της το 2006.

Και μάλιστα ,αυτό δε θα γινόταν αν η Ευρωπαϊκή ένωση δεν ήταν ένας από τους ένθερμους υποστηρικτές του **Πρωτόκολλου του Κιότο**. Το **Πρωτόκολλο του Κιότο ή Συνθήκη του Κιότο που υπεγράφη στις 16/02/2005** περιλαμβάνει τα απαραίτητα βήματα για την μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης του CO₂ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προωθείται πλέον το 20-20-20,δηλαδή μέχρι το 2020 το 20% της ενέργειας να παράγεται από Α.Π.Ε. και να μειωθούν κατά 20% οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Έτσι το 2006 καταρτίζεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης σε συνεργασία με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) ο Αναπτυξιακός Νόμος 3468/2006 που έγινε Νόμος του κράτους στις 27 Ιουνίου του 2006. Ο Νόμος αναφέρεται στην προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) με ένα πρόγραμμα που καταρτίζεται από την Ρ.Α.Ε. και εγκρίνεται από τον υπουργό ανάπτυξης. Το πρόγραμμα αρχίζει με τον 3468/2006 και λήγει 31.12.2020 και αναφέρεται για εγκατάσταση ΦΒ τουλάχιστον 500MWp ,για σταθμούς που συνδέονται στο σύστημα ,απευθείας ή μέσω δικτύου και τουλάχιστον 200 MWp για σταθμούς που συνδέονται με το σύστημα για το δίκτυο Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Τα κίνητρα που δόθηκαν για να αναπτυχθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ ήταν:

- Επιδότηση στο κόστος της αρχικής εγκατάστασης που μπορούσε να φτάσει μέχρι το 40% από το Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.
- Προνομακές Εγγυημένες τιμές οι οποίες ορίστηκαν στον ίδιο νόμο για είκοσι (20) χρόνια.

Ο φάκελος με τα απαιτούμενα δικαιολογητικά του μελλοντικού παραγωγού κατατεθόταν προς εξέταση στη Ρ.Α.Ε. και υπογραφόταν σύμβαση αγοροπωλησίας με το Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. (Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) που ήταν αρχικά 10ετούς ισχύος και με δικαίωμα του παραγωγού για ανανέωση της σύμβασης για άλλα 10 χρόνια. **Ο Νόμος ίσχυε μέχρι την 31^η Δεκεμβρίου του 2010.**

Με το νέο Νόμο το 2010 ήρθε η πραγματική "επανάσταση" στην πράσινη ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο νέος νόμος καταργεί την επιδότηση στην αρχική εγκατάσταση αλλά εισαγάγει ένα νέο πρόγραμμα που θα αλλάξει τον ενεργειακό χάρτη στη χώρα και δεν είναι άλλο από το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης ΦΒ συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Στην ουσία ο νέος νόμος επιτρέπει την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε δώματα ή στέγες οικιών. Πιο συγκεκριμένα σε οικίες δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης μονάδας ισχύος μέχρι 10 kWp με μοναδικές προϋποθέσεις την νομιμότητα (άδεια οικοδομής) του κτιρίου και την κάλυψη θερμικών αναγκών από Α.Π.Ε. . Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά η μέγιστη ισχύς εγκατάστασης θα πρέπει να φτάνει 5 kWp (Με ΚΥΑ που εκδόθηκε αργότερα επιτρέπεται εγκατάσταση ΦΒ σε πέργκολα, σε βοηθητικούς χώρους της οικίας, σε σκέπαστρα πάρκινγκ κ.ό.κ.). Η γενικότερη οικονομική κατάσταση της χώρας, η σημαντική πτώση της τιμής του εξοπλισμού των φωτοβολταϊκών και το συνεχές αυξανόμενο έλλειμμα του ΛΑΓΗΕ οδήγησε στις συνεχείς μεταβολές των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τιμές που ίσχυαν (P<10kWp) μέχρι 01/02/2012 και την μετέπειτα αλλαγή τους ως 31/08/2012, όπου πάλι είχαμε αλλαγή επιδοτούμενης ταρίφας, η οποία έφθασε στα 220€/MWh για όσο διασυνδέθηκαν το τελευταίο τρίμηνο του 2013.

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση(€/MWh)	Νέα τιμή(€/MWh)	Ποσοστό μείωσης
Φεβρουάριος 2012	522,5	495	5%
Αύγουστος 2012	522,5	470,25	
Φεβρουάριος 2013	496,38	446,73	
Αύγουστος 2013	496,38	424,40	
Φεβρουάριος 2014	471,56	403,18	
Αύγουστος 2014	471,56	383,02	
Φεβρουάριος 2015	447,98	363,87	
Αύγουστος 2015	447,98	345,6	

Πίνακας 5.1.: Εξέλιξη τιμών πώλησης kWh

Η τελευταία αλλαγή επέφερε σημαντική ανασφάλεια στους μελλοντικούς επενδυτές καθώς υπήρξε αναδρομική μεταβολή των τιμών πώλησης, στα ήδη υπογεγραμμένα συμβόλαια αλλά και σημαντική αλλαγή στην τιμή πώλησης της kWh σε μελλοντικές επενδύσεις. Αλλαγές που καθιστούσαν σχεδόν μη βιώσιμες φωτοβολταϊκές επενδύσεις <1 MW, αφού η τιμή πώλησης το 2016 κατέληξε στα 110 €/MWh.

Έτσι φθάσαμε το Δεκέμβριο του 2014 (30/12/2014) μέσω ιδιαίτερης πολιτικής διαταραχής, στην Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) Από το ΥΠ.Ε.Κ.Α. με θέμα :

«Εγκατάσταση μονάδων Α.Π.Ε. από αυτοπαραγωγούς με συμψηφισμό ενέργειας κατ' εφαρμογή του άρθρου 14 Α του ν. 3468/2006».

Ο ΔΕΔΔΗΕ ανακοίνωσε την ετοιμότητα του να δεχτεί αιτήματα για αυτοπαραγωγή στις 27/03/2015. Τι είναι όμως ο ενεργειακός συμψηφισμός μέσω αυτοπαραγωγής από φωτοβολταϊκά συστήματα, το γνωστό πανευρωπαϊκά net metering; Και πως εφαρμόζεται στην περιπτώσή μας; Δύο ερωτήματα που θα απαντηθούν εκτενώς και θα μας οδηγήσουν στην επιλογή ισχύος του συστήματος μας.

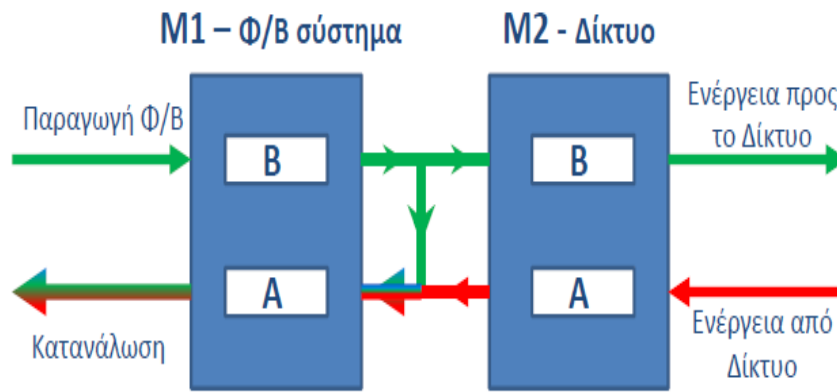
5.1.2. Net Metering

Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ Β' 3583/31.12.2014) και αφορά στην εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού. Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργειας με την καταναλισκόμενη στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε ετήσια βάση. Στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη.

Η μέγιστη ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος, στο διασυνδεδεμένο σύστημα, ανέρχεται μέχρι 20 kWp ή το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης ($\leq 0,5 \times$ συμφωνημένη ισχύς παροχής ΔΕΗ σε kVA), εφόσον η τιμή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου των 20 kWp. Σε καμία περίπτωση το σύστημα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 500 kWp. Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, το όριο ανέρχεται τα 10 kWp και στην Κρήτη τα 20 kWp, ή το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης ($\leq 0,5 \times$ συμφωνημένη ισχύς παροχής ΔΕΗ σε kVA), εφόσον η τιμή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου. Το ανώτατο όριο ορίζεται τα 50 kWp για την Κρήτη και τα 20 kWp για τα υπόλοιπα νησιά. Η εγκατάσταση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κτίριο ή έδαφος ή άλλης κατασκευής συμπεριλαμβανομένου αυτών του πρωτογενούς τομέα (αγροτικά-κτηνοτροφικά).

Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα (επιτηδευματίες ή μη) ή νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου τα οποία είτε έχουν στην κυριότητα τους τον χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα είτε έχουν τη νόμιμη χρήση αυτού (π.χ. μέσω μίσθωσης, δωρεάν παραχώρησης κλπ) έχοντας διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη.

Πιο συγκεκριμένα παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα υπολογισμού του τελικού ποσού χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας βάσει συμψηφισμού:

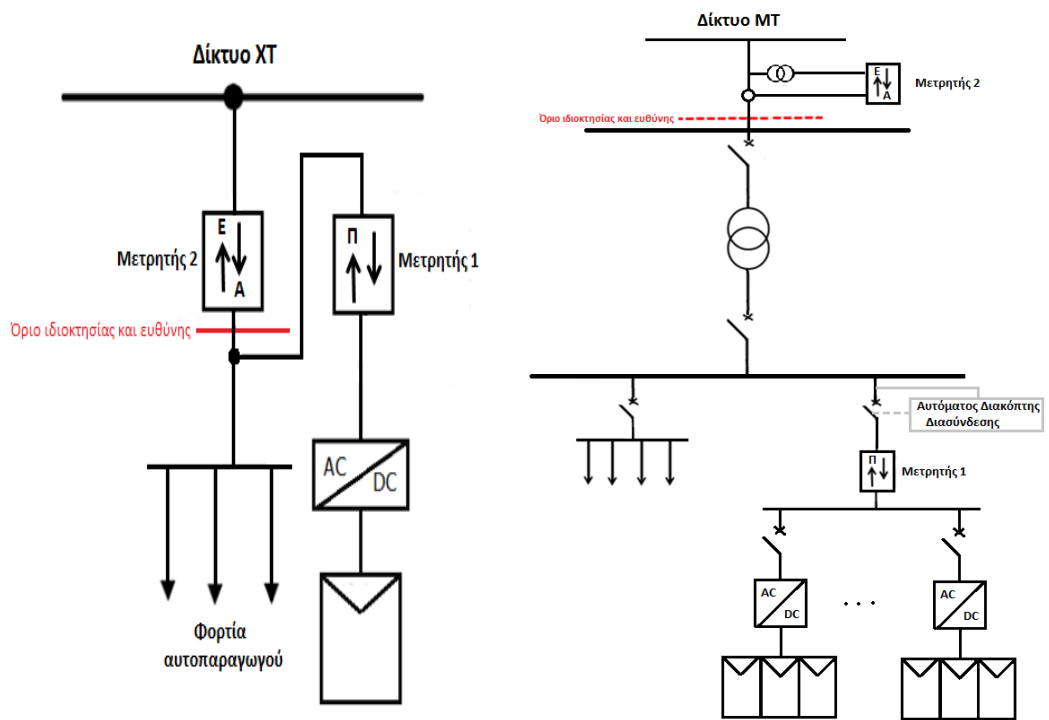


➤ Ανταγωνιστικές Χρεώσεις:	$M2A - M2B > 0 \times \text{χρέωση } \text{€/kWh}$ $M2A - M2B < 0$, πίστωση kWh στον επόμενο εκκαθαριστικό σαν επιπρόσθετη M2B
➤ Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις:	$M2A \times \text{€/kWh}$
➤ Χρεώσεις ΥΚΩ:	$M1A \times \text{€/kWh} \mid M1A = M1B + M2A - M2B$
➤ Χρέωση ΕΤΜΕΑΡ, ΕΦΚ, Ειδ. Τέλος %0	Σύμφωνα με τις εκάστοτε διατάξεις
➤ Κλιμακούμενη Χρέωση:	Ο συμφητισμός πραγματοποιείται ώστε να προκύπτει η ελάχιστη δυνατή χρέωση για τον αυτοπαραγωγό

Σχήμα 5.1.: Μετρητική διάταξη net metering

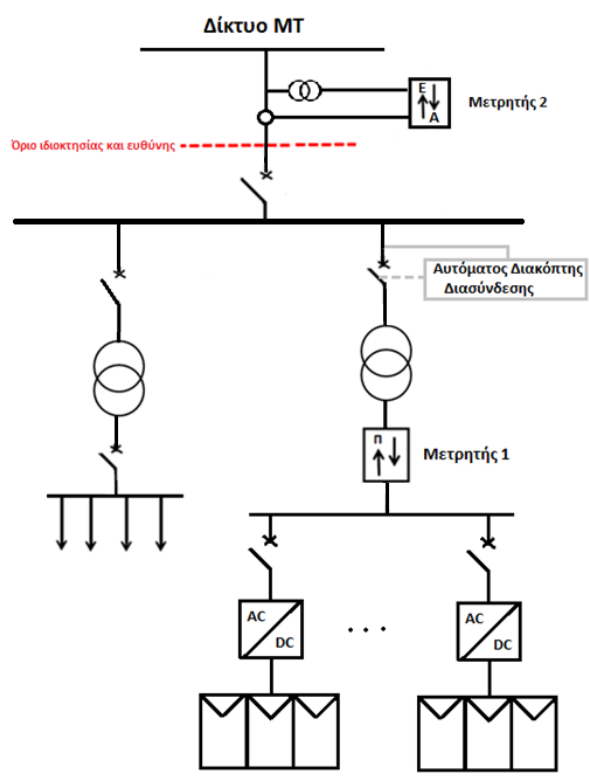
Ο μετρητής 2 (M2) αφορά τη μετρητική διάταξη, του ΔΕΔΔΗΕ, εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας στο όριο του χρήστη, ο μετρητής 1 (M1) αφορά τη μετρητική διάταξη του ΦΒ συστήματος που εμφανίζει την παραγόμενη ενέργεια από το σύστημά κι είναι υποχρεωμένος ο ιδιοκτήτης να τον προμηθευτεί και να τον εγκαταστήσει.

Στη συνέχεια παρατίθενται σχέδια οριοθέτησης των μετρητικών διατάξεων στα πλαίσια εφαρμογής του net metering. Στο πρώτο σχήμα φαίνεται η διάταξη σύνδεσης φωτοβολταϊκού συστήματος στη χαμηλή τάση (XT), το δεύτερο σχήμα αφορά τη σύνδεση φωτοβολταϊκού συστήματος σε εγκαταστάσεις μέσης τάσης, κυρίως αναφέρεται σε βιομηχανικούς χώρους. Στο τρίτο και τελευταίο σχήμα διαφαίνεται η οριοθέτηση μετρητικής διάταξης όταν το φωτοβολταϊκό μας σύστημα απαιτεί δικό τους μετασχηματιστή λόγω ισχύος.



Σχήμα 5.2.α.: Μετρητική διάταξη ΧΤ

Σχήμα 5.2.β.: Μετρητική διάταξη ΜΤ



Σχήμα 5.2.γ.: Σχέδιο οριοθέτησης μετρητικής διάταξης ΜΤ με ξεχωριστούς μεταχηματιστές κατανάλωσης-ΦΒ συστήματος

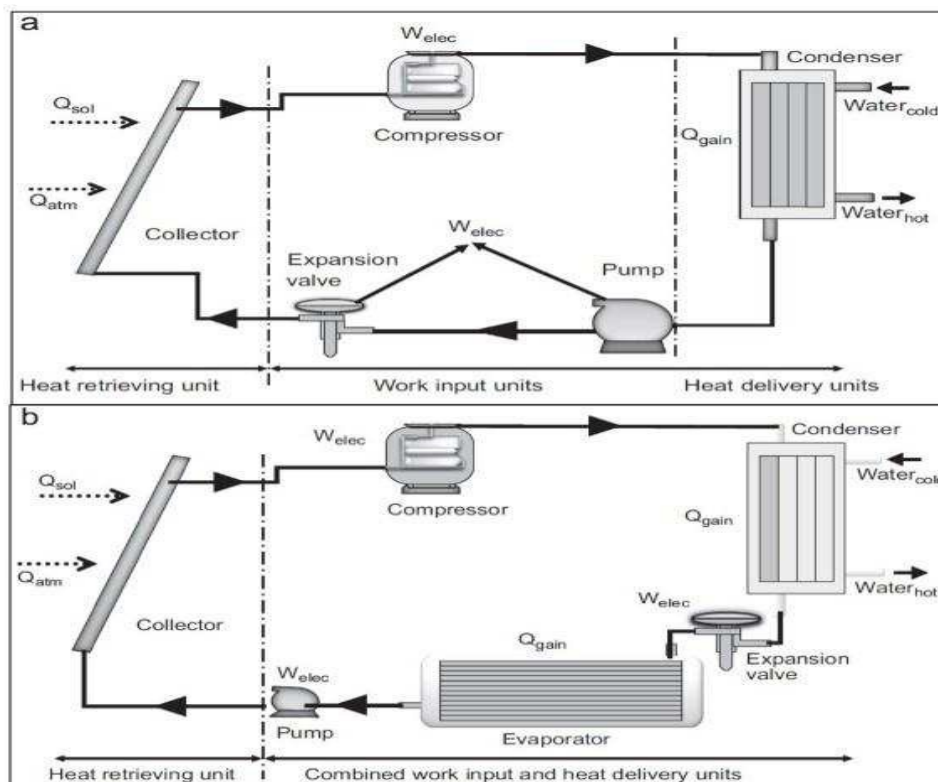
Οι βασικοί όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό, έχουν ως ακολούθως:

- Η ύπαρξη ενεργού μόνιμης παροχής ρεύματος στο όνομα του αυτοπαραγωγού μέσω της οποίας τροφοδοτείται η εγκατάσταση κατανάλωσής του.
- Το ΦΒ σύστημα αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης, δηλαδή με τον μετρητή της εγκατάστασης κατανάλωσης την οποία τροφοδοτεί.
- Το ΦΒ σύστημα εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχίζεται (δεν είναι επιτρεπτός ο συμψηφισμός με καταναλώσεις του ίδιου φυσικού ή νομικού προσώπου σε άλλες θέσεις εγκατάστασης)
- Ο ενδιαφερόμενος έχει τη νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης του συστήματος.
- Ο ενδιαφερόμενος έχει εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου Προμηθευτή (ή έχει ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών).

5.2 Περιγραφή συστήματος μελέτης

Η κεντρική ιδέα του σχεδιασμού του συστήματος μελέτης στηρίζεται στο συνδυασμό ενός συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων κι αντλίας θερμότητας, το οποίο θα χρησιμοποιείται για τρεις λόγους: 1) Για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της οικίας στα πλαίσια ενεργειακού συμψηφισμού (net metering) 2) Για τη θέρμανση του χώρου με τη χρήση αντλίας θερμότητας 3) Με την ταυτόχρονη θέρμανση του κυκλοφορούν ρευστού (R410-A) που θα διατρέχει την πίσω όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου και ψύξη του τελευταίου λόγω αγωγής θερμότητας: α) επιτυγχάνεται η πτώση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου με αποτέλεσμα να φτάνει στις ιδανικές συνθήκες απόδοσης STC, β) Πραγματοποιείται προθέρμανση του ρευστού με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας (C.O.P.) .

Η διάταξη θα χρησιμοποιεί τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ως εναλλάκτες θερμότητας (PV/T) για την παραγωγή ή μη της απαιτούμενης θερμότητας, εν συνεχεία το ρευστό οδηγείται στο συμπιεστή της αντλίας θερμότητας, για να ακολουθηθεί ο αντίστοιχος κύκλος θέρμανσης και ψύξης του χώρου. Ένα χαρακτηριστικό ρεαλιστικό διάγραμμα του συνολικού συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.3.: Σύστημα μελέτης αντλίας θερμότητας-φωτοβολταϊκών

- **STC:** Standard Test Conditions (Τυπικές συνθήκες δοκιμών)
 1. Προσπίπτουσα ακτινοβολία $1000W/m^2$
 2. Θερμοκρασία περιβάλλοντος $25^{\circ}C$
 3. Air Mass (Μάζα αέρα) 1,5

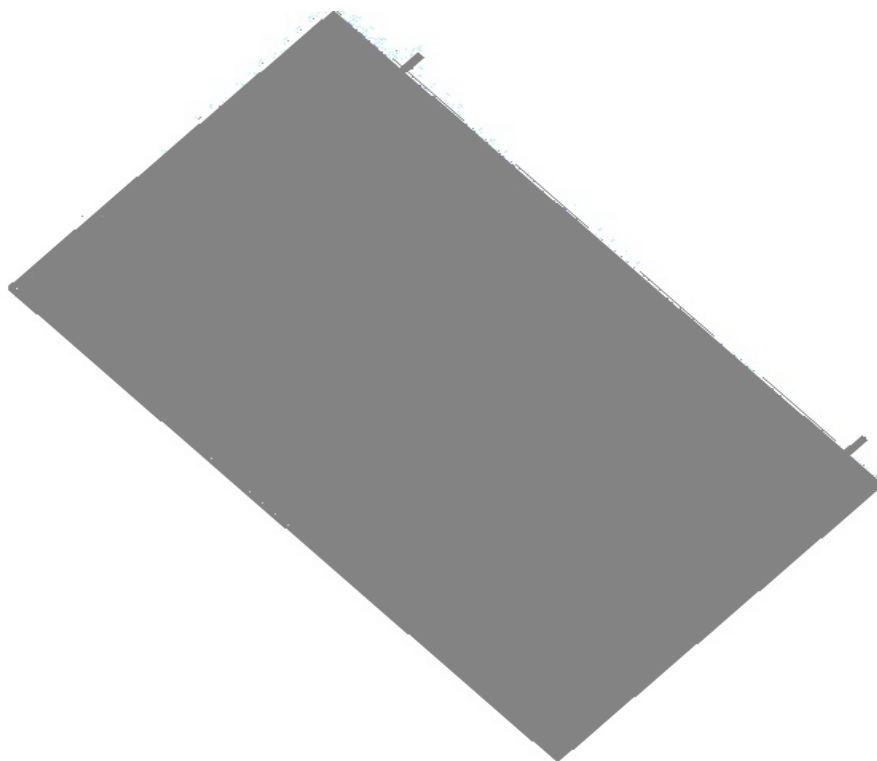
Αφορά τις συνθήκες μέτρησης απόδοσης της φωτοβολταϊκής μονάδας. Έτσι όταν λέγεται ότι η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού είναι 260 Wp αναφέρονται στην απόδοση του όταν προϋπάρχουν οι ανωτέρω συνθήκες.

➤ **COP:** Coefficient of performance

Έχει αναλυθεί επαρκώς στο κεφάλαιο 3 στο τμήμα ανάλυσης των αντλιών θερμότητας.

5.2.1. Περιγραφή κατασκευής φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το πλαίσιο που μελετάται, όπως φαίνεται και στις όψεις που παρατίθενται είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με ύψος 1.670 mm, μήκος 990mm και πλάτος 50mm. Η ανάλυση των υλικών και της χωροθέτησης τους περιγράφονται παρακάτω. Η επιλογή των διαστάσεων, όσον αφορά κυρίως το μήκος και το ύψος δεν είναι τυχαίες, καθώς συμπίπτουν με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά και για τα οποία έχουμε πληροφορίες για τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, την απόδοσή τους αλλά και τις μηχανικές αντοχές τους. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο λοιπόν, επεμβαίνουμε και δημιουργούμε έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπου θα πραγματοποιεί εναλλαγή θερμότητας μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και ενός κυκλοφορούντος ρευστού, που στην περίπτωση μας είναι το R-410A, ενός ψυκτικού ρευστού με θερμοδυναμικές ιδιότητες που δύναται να προωθηθεί στον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας και να απαχθεί η απαιτούμενη θερμότητα.



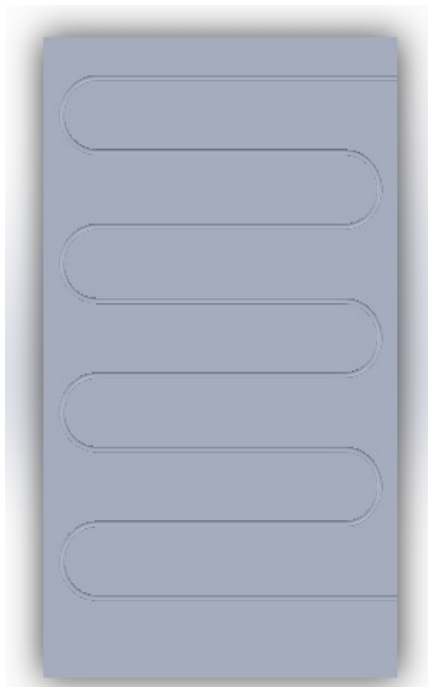
Σχήμα 5.4.: Πρόοψη του πλαισίου PV/T

Τα λογισμικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό και τη θερμική ανάλυση του PV/T είναι το AutoCAD για την διαστασιολόγηση σε 2D, το SolidWorks και το ANSYS για τον λεπτομερή σχεδιασμό σε 3D και φυσικά τη θερμική ανάλυση. Σχεδιάστηκε το νέο πλαίσιο με τη προσθήκη του απαραίτητου εξοπλισμού για την αγωγή και συναγωγή θερμότητας με σκοπό τη μεταφορά της στο κυκλοφορούν ρευστό, Freon R-410A. Τα 7 mm που συναντά αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία αποτελούνται από 6mm συγκεντρωτικού γυαλιού και 1 mm της επίστρωσης των φωτοβολταϊκών κυψελών. Εξαιτίας της πολύ μικρής διάστασης της κυψέλης και της συνθετότητας των υλικών από τα οποία αποτελείται δεν υπολογίζεται στην αντίσταση μεταφοράς θερμότητας, θεωρούμενη αμελητέα. Εν συνεχεία σε επαφή με την προηγούμενη στρώση, για αύξηση της απόδοσης τοποθετείται φύλλο αλουμινίου 2 mm. Στην πίσω πλευρά, κολλημένοι αγωγοί χαλκού διατομής $d=15,88$ mm πάχους 1,016mm. Φορτίο θραύσης $\geq \frac{200N}{mm}$, Τάση σε $0,2\% \geq 40\%$, Επιμήκυνση $\geq 60N/mm$. Τέλος προστίθεται μονωτικό υλικό, υαλοβάμβακας, πάχους 24,95 mm για την προστασία θερμικών απωλειών λόγω επαφής με τον αέρα του περιβάλλοντος. Παρακάτω παρατίθενται σχέδια και πίνακες με βασικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η διαστασιολόγηση των ψυκτικών χάλκινων σωληνώσεων αναλύεται στο κεφάλαιο 5.5 εξ' αιτίας της σύνθετης λειτουργίας του ψυκτικού ρευστού, το οποίο απορροφά θερμότητα με αποτέλεσμα το ενθαλπικό κέρδος χωρίς την αλλαγή της πίεσης και της θερμοκρασίας αλλά ιδιοτήτων όπως η πυκνότητα, το ιξώδες, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η ταχύτητα, η ξηρότητα και εν τέλει ο συντελεστής συναγωγής, από τον οποίο εξαρτάται τελικά το ποσό θερμότητας που απορροφάται.

Υλικό	Σημείο Τήξης(K)	P (Kg/m ³)	Cp (J/Kg·°C)	K (W/m·°C)
Κράμα Αλουμινίου(4,5% Cu, 1,5%Mg, 0,6% Mn)	775	2689	$5 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,254T + 144,3$ (-100°C<T<200°C)	200
Χαλκός εμπορίου	1358	8300	385	401
Γυαλί	1000	2500	750	1,4
Υαλοβάμβακας	2273	13	0,84	0,043

Πίνακας 5.2. Χαρακτηριστικά μεγέθη μερών κατασκευής PV/T πλαισίου

Το φύλλο αλουμινίου τοποθετείται ανάμεσα στο γυαλί και τις σωληνώσεις με σκοπό α) Την αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, β) Για τεχνικούς λόγους στήριξης των σωληνώσεων γ) Χαμηλότερο κόστος (από το να τοποθετηθεί φύλλο χαλκού) δ) Πιο ελαφριά κατασκευή



Σχήμα 5.5.: Κάτοψη φύλλου αλουμινίου

5.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Πολύ σημαντικό παράγοντα στη μελέτη του συστήματος παίζουν τα μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένο το σύστημα. Στην εγκατάσταση υπάρχει ένα πλήρες σύστημα τηλεμέτρησης των ενεργειακών κι ηλεκτρικών μεγεθών της εγκατάστασης αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών του μικροκλίματος που επικρατεί. Πιο συγκεκριμένα στο τοπικό δίκτυο της τηλεμετρίας, συγκεντρώνονται μέσω Bluetooth, όλες οι συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και καταγραφής κλιματικών δεδομένων. Τα δεδομένα των καιρικών συνθηκών συλλέγονται από ένα πυρανόμετρο, ένα ανεμόμετρο, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος κι έναν αισθητήρα θερμοκρασίας φβ πλαισίου. Ουσιαστικά στο πυρανόμετρο διασυνδέονται ενσύρματα οι υπόλοιποι αισθητήρες, από εκεί μέσω Bluetooth όλα τα δεδομένα συλλέγονται στο τοπικό δίκτυο και τελικά με χρήση δορυφορικού δρομολογητή αναρτώνται στο διαδίκτυο. Στον παρακάτω πίνακα κι εικόνες αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων.



ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (SENSORBOX)



ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

<i>Τεχνικά Χαρακτηριστικά</i>	<i>Αισθητήρες</i>			
	<i>Πυρανόμετρο</i>	<i>Θερμοκρασίας Πλαισίου</i>	<i>Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος</i>	<i>Ανέμου</i>
<i>Υλικό Μέτρησης Μεγέθους</i>	Άμορφο Πυρίτιο (aSi)	Πλατίνα (PT100)	Πλατίνα (PT100)	-
<i>Αναλογική Συχνότητα Έντασης Ανέμου</i>	-	-	-	100Hz στα 78 kn.
<i>Εύρος Μέτρησης</i>	0 W/m ² -1500 W/m ²	-20 ⁰ C-110 ⁰ C	-30 ⁰ C-80 ⁰ C	78kn. στα 117kn.
<i>Αρίβεια</i>	8%	0,5 ⁰ C	0,7 ⁰ C	0,5%
<i>Ανάλυση</i>	1 W/m ²	0,1 ⁰ C	0,1 ⁰ C	0,4m
<i>Μέγεθος (mm)</i>	120x50x90	-	100x52x67	-

Πίνακας 5.3.: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών αισθητήρων μέτρησης μετεωρολογικών δεδομένων

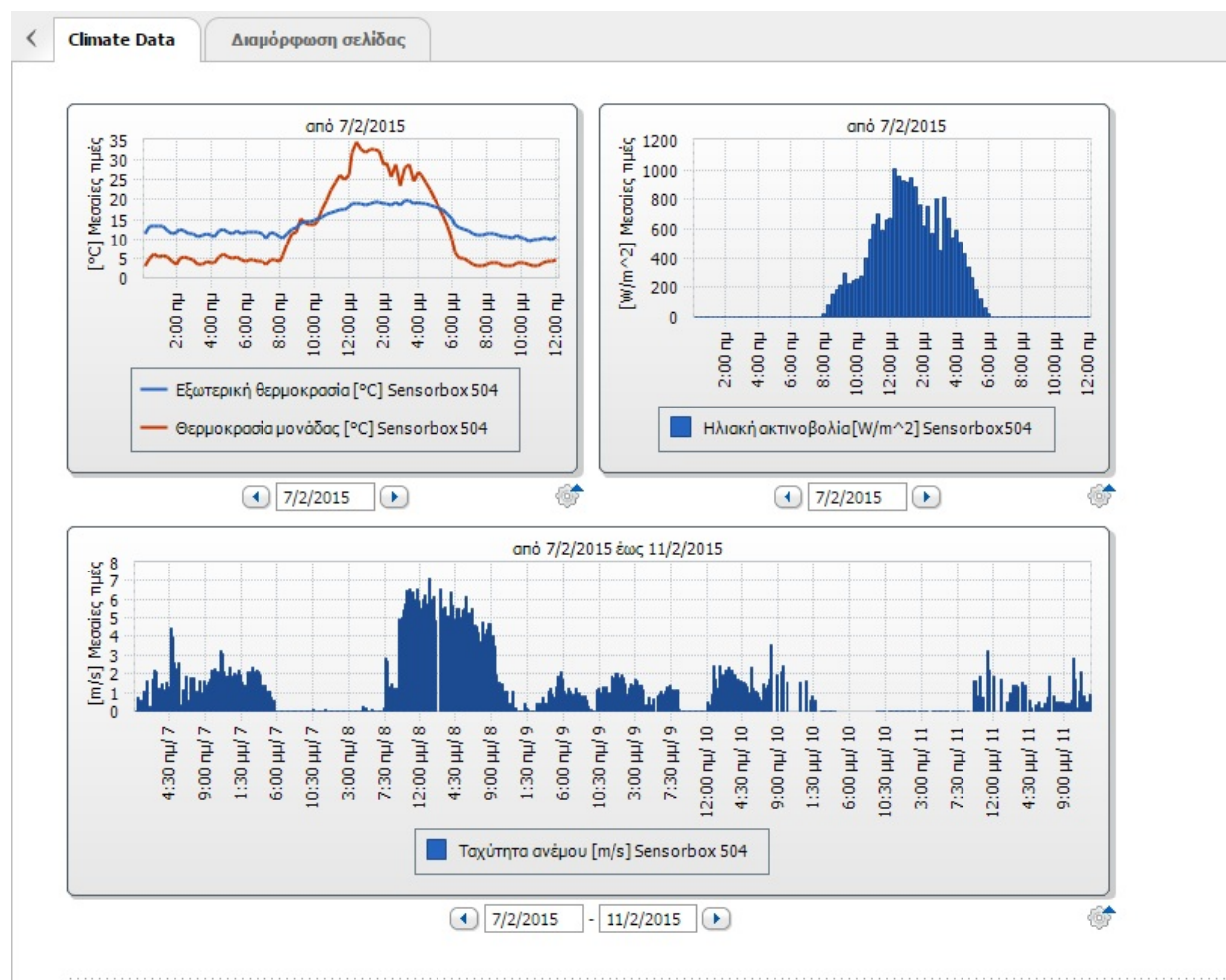


ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΦΒ

Τα δεδομένα πέρα από την διαδικτυακή συλλογή τους μέσω του link <http://www.sunnyportal.com>, συλλέγονται και μέσω της Memory Card που είναι εγκατεστημένη στη συσκευή τηλεμέτρησης (Webbox). Τα αρχεία μπορούν εύκολα στη συνέχεια να επεξεργαστούν σε excel και μέσω γραφημάτων να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις.



Σχήμα 5.6.: Πίνακας απεικόνισης σε ψηφιακή μορφή των μετεωρολογικών δεδομένων

Τα δεδομένα που συνδέονται άμεσα με τη μελέτη του συστήματος μας, είναι αυτά που αφορούν κυρίως τους μήνες που έχουμε τις μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις ή ενεργειακά κέρδη. Έτσι επιλέγουμε τα διαστήματα 1/12/2014-28/02/2015 και 1/06/2015-31/08/2015.

- 1/12-28/02: Είναι οι μήνες που επικρατούν στη χώρα μας οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Οι απαιτήσεις για θέρμανση αυτή την περίοδο είναι μέγιστη, οπότε είναι ιδανικό διάστημα να εξεταστεί η ενεργειακή συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στην αύξηση της απόδοσης του ψυκτικού ρευστού κι επομένως στην αύξηση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας.
- 1/06-31/08: Είναι το διάστημα που συναντώνται οι υψηλότερες θερμοκρασίες κι εξετάζεται η συμβολή του ψυκτικού ρευστού στη μείωση της θερμοκρασίας των κυψελών του ΦΒ πλαισίου κι επομένως στην αύξηση της απόδοσης του. Στα φωτοβολταϊκά πλαίσια της μελέτης μας η πτώση της απόδοσης είναι 0,043% / °C, για θερμοκρασίες άνω των 25°C.

Δειγματοληπτικά λαμβάνονται κλιματολογικά δεδομένα 10 ημερών/μήνα μελέτης. Επομένως για το κάθε διάστημα μελέτης όπως αναλύθηκε παραπάνω λαμβάνονται 30 ημερών δεδομένα, επεξεργάζονται σε φύλλα Excel κι εκεί υπολογίζονται οι μέσες τιμές. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες τιμές ανά μήνα κι ανά τρίμηνο.

ΜΗΝΕΣ	Τπερ(°C)	Τπερ ηλιοφ. (°C)	Τpanel (°C)	Τpanel ηλιοφ. (°C)	E(W/m ²)
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	7,36	10,47	7,485	16,055	278,21
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,85	12,79	10,69	16,77	328,8
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	9,33	11,93	9,55	16,5	310,08
Μ.Ο.	9,18	11,73	9,24	16,44	305,7

Πίνακας 5.4.: Πίνακας μετεωρολογικών δεδομένων χειμώνα

ΜΗΝΕΣ	Τπερ (°C)	Τπερ ηλιοφ. (°C)	Τpanel (°C)	Τpanel ηλιοφ. (°C)	E(W/m ²)
ΙΟΥΝΙΟΣ	22,85	26,6	25,72	32,08	398
ΙΟΥΛΙΟΣ	25,4	28,14	28,87	35,66	440,7
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26,65	30,42	30,12	40,07	526,9
Μ.Ο.	24,97	28,39	28,24	35,94	455,2

Πίνακας 5.5.: Πίνακας μετεωρολογικών δεδομένων καλοκαίρι

Τπερ (°C): θερμοκρασία περιβάλλοντος (όπισθεν όψη πλαισίου)

Τπερ. Ηλιοφ. (°C): θερμοκρασία περιβάλλοντος με ηλιοφάνεια

Τpanel (°C): θερμοκρασία πρόσοψης πλαισίου

Τpanel ηλιοφ. (°C): Θερμοκρασία πρόσοψης πλαισίου με ηλιοφάνεια

E(W/m²): Ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο ύψος του πλαισίου

5.4 Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού συστήματος

Βάσει νομοθετικού πλαισίου που διέπει τις Α.Π.Ε., το οποίο αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαστασιολογείται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Για να υπολογιστεί η ισχύς του συστήματος θα πρέπει να αντληθούν πληροφορίες για τις καταναλώσεις από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ κι ενώ ήταν σε λειτουργία η αντλία θερμότητας που είναι μέρος της μελέτης. Οι καταναλώσεις είναι σημαντικές (ετήσιες kWh) για να επιτευχθεί ο ενεργειακός συμψηφισμός από αυτοπαραγωγή. Έτσι παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας που συμπίπτει χρονικά με τα μετεωρολογικά δεδομένα ανάλυσης του πλαισίου μας και δείχνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά εκκαθαριστικό σημείωμα.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΤΙΚΟΙ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΙ)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(KWh)	
	ΗΜΕΡΑ	ΝΥΧΤΑ
28/06/2013-1/11/2013	2.141	1299
1/11/2013-28/02/2014	1573	463
28/02/2014-01/07/2014	1619	622
	5.333	2384
ΣΥΝΟΛΟ	7.717	
01/07/-04/11/2014	1.859	1.015
4/11/2014-03/03/2015	1499	375
03/03/2015-04/07/2015	1138	363
	4.496	1.753
ΣΥΝΟΛΟ	6.249	
Μ.Ο.	6.983	

Πίνακας 5.6.: Αναλυτική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 2013-2014, 2014-2015.

Η όποια διαφοροποίηση προκύπτει μεταξύ των δύο τελευταίων ετών εντοπίζεται κυρίως τους μήνες Ιούλιο- Οκτώβριο λόγω της πιθανής μεγαλύτερης χρήσης του κλιματισμού. Εμείς λαμβάνουμε για τη μελέτη μας υπόψη το Μέσο Όρο των 2 τελευταίων ετών.

Επομένως το συστημά θα πρέπει να παράγει περίπου τις kWh που καταναλώνονται, δηλαδή περίπου 6.983 kWh.

Λαμβάνοντας υπόψη τις συντεταγμένες της τοποθεσίας εγκατάστασης του συστήματος μελέτης, υπολογίζεται με τη βοήθεια του διαδικτυακού προγράμματος JRC-PVGIS η αναμενόμενη απόδοση κι επομένως η ισχύς του συστήματος.

PVGIS εκτιμήσεις ηλιακής ηλεκτρικής παραγωγής [I6]

Τοποθεσία: 38°17'56" Βόρεια, 23°29'58" Ανατολικά, Υψόμετρο: 302 m a.s.l.,

Βάση δεδομένων: PVGIS-CMSAF

Ονομαστική ισχύς ΦΒ συστήματος: 5.0 kW (crystalline silicon)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας και χαμηλής ακτινοβολίας: 14.9%

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω φαινομένων γωνιακής ανάκλασης: 2.5%

Άλλες απώλειες (καλώδια, inverter κτλ.): 14.0%

Συνδυασμένες απώλειες από ΦΒ σύστημα: 28.7%

Κλίση=30°, Προσανατολισμός=0°(N)				
Μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν	11.00	342	2.86	88.5
Φεβ	14.00	393	3.71	104
Μαρ	19.40	600	5.28	164
Απρ	22.30	668	6.22	187
Μάϊος	23.10	715	6.61	205
Ιουν	25.00	751	7.31	219
Ιουλ	25.70	798	7.61	236
Αυγ	25.30	784	7.47	232
Σεπ	21.50	645	6.17	185
Οκτ	17.30	535	4.79	149
Νοεμ	12.90	387	3.45	104
Δεκ.	9.66	299	2.51	77.7
Ετήσιος Μ.Ο.	19.0	577	5.34	162
Σύνολο		6920		1950

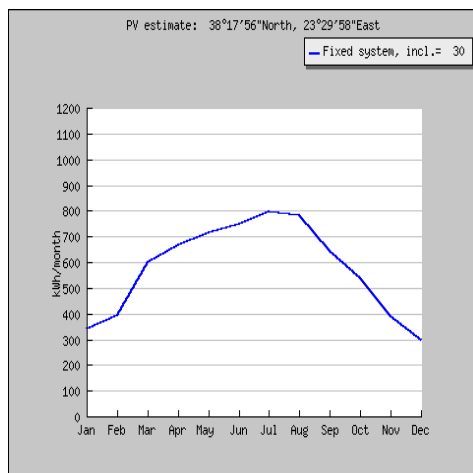
Πίνακας 5.7.: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος

E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

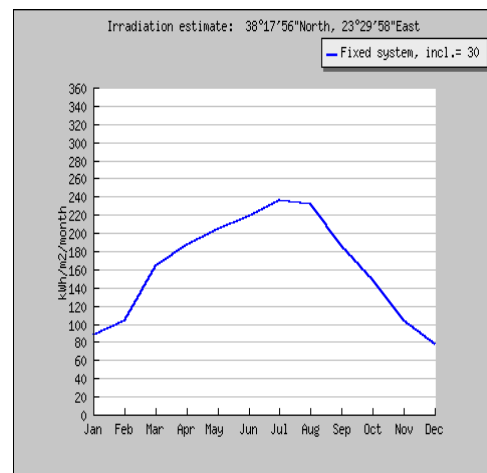
E_m : Μ.Ο. Μηνιαίας Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

H_d : Μ.Ο. Συνολικής Ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που λαμβάνετε από το υπάρχον σύστημα (kWh/m²)

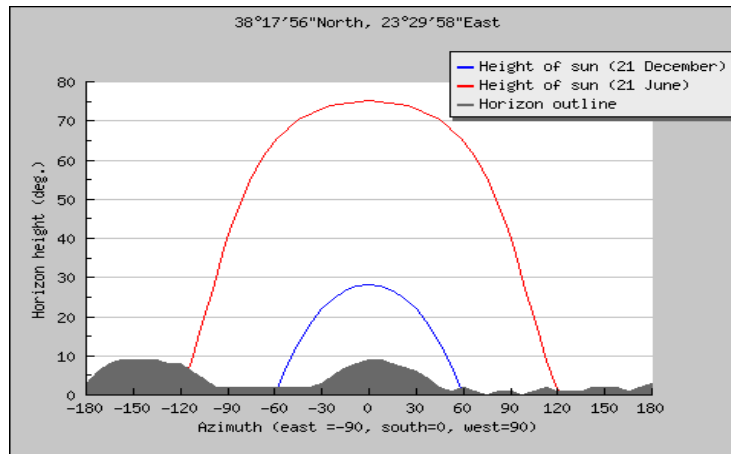
H_m : Μ.Ο. Μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που λαμβάνετε από το υπάρχον σύστημα (kWh/m²)



Σχήμα 5.7.α.: Παραγωγή μηνιαίας ηλεκτρικής ενέργειας φβ συστήματος.



Σχήμα 5.7.β.: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά m².



Σχήμα 5.7.γ.:Χαρακτηριστική τροχιά ήλιου συναρτήση του ορίζοντα.

Υπολογίστηκε ότι το σύστημα το οποίο απαιτείται για να πραγματοποιήσουμε τον ενεργειακό συμψηφισμό (net metering) είναι ισχύος 5 kWp. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού, χωροθέτησης κι εξαγωγής οικονομοτεχνικών μεγεθών. Με τη βοήθεια του προγράμματος Sunny Design 3 της SMA διαστασιολογείται το ΦΒ σύστημα επιλέγοντας 18 φωτοβολταϊκές μονοκρυσταλλικές μονάδες των 280 Wp έκαστη και τριφασικό μετατροπέα DC/AC ισχύος 5 KVA, σε θερμοκρασιακές συνθήκες σχεδιασμού $T_{min.}=-9^{\circ}C$, $T_{design}=29^{\circ}C$, $T_{max.}=38^{\circ}C$. Παρακάτω επισυνάπτονται αναλυτικά λεπτομέρειες του σχεδιασμού της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. [15]

Αριθμός εργασίας: #1#

Θερμοκρασία περιβάλλοντος:


Ελάχιστη θερμοκρασία: -9 °C

Θερμοκρασία σχεδιασμού: 29 °C

Μέγιστη θερμοκρασία: 38 °C

Τμηματική εργασία 1

1 x STP 5000TL-20

Ισχύς κορυφής:	5,04 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	18
Αριθμός μετατροπέων:	1
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	5,10 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC (cos φ = 1):	5,00 kW
Τάση δικτύου:	230V (230V / 400V)
Λόγος ονομ. ισχύος:	101 % 
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1






STP 5000TL-20

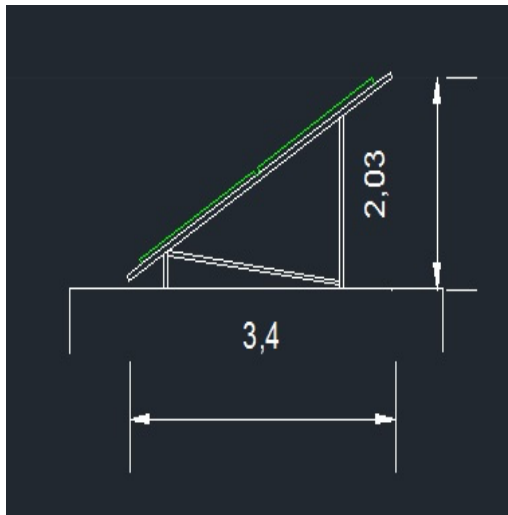
Τεχνικά χαρακτηριστικά

Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

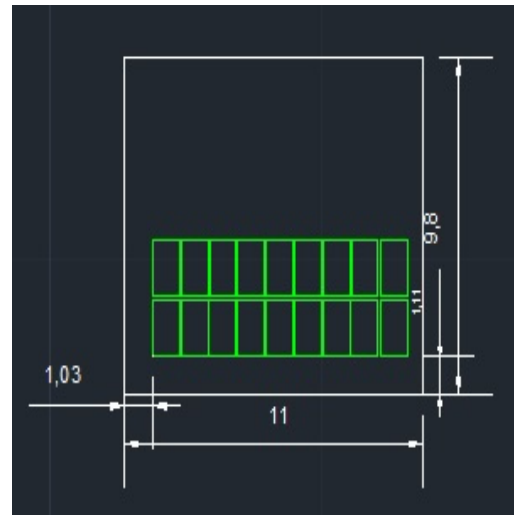
18 x aleo solar AG S19J280T (05/2014), Αζιμουθια: 0 °, Κλίση: 30 °, Τρόπος τοποθέτησης: Ελεύθερη τοποθέτηση

	Είσοδος A:	Είσοδος B:	
Αριθμός στοιχειοσειρών:	1		
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά στοιχειοσειρά:	18		
Ισχύς κορυφής (είσοδος):	5,04 kWp	---	
Χαρακτηριστική Φ/Β τάση:	 519 V	---	
Ελάχ. Φ/Β τάση:	492 V	---	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V	150 V	
Μέγ. Φ/Β τάση:	 778 V	---	
Μέγ. τάση DC:	1000 V	1000 V	
Μεγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτρ.:	 9,0 A	---	
Μέγ. ρεύμα DC:	11 A	10 A	

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά μπορεί κανείς εύκολα να διαπιστώσει ότι η σύνδεση στον αντιστροφέα πραγματοποιείται μόνο σε μια είσοδο (είσοδος A), άρα δεν υπάρχει κάποιος παραλληλισμός ως προς τη συνδεσμολογία των ΦΒ μονάδων, αλλά η σύνδεση είναι σε σειρά. Θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι αυτό θα δημιουργήσει πρόβλημα αν για παράδειγμα υπάρξει σκίαση σε ένα από όλα τα ΦΒ πλαίσια, όμως αυτό δε συμβαίνει καθώς τα πλαίσια είναι εφοδιασμένα με τρεις by-pass δίοδους που ουσιαστικά χωρίζουν το πλαίσιο σε τρεις κάθετες ισομερείς λωρίδες. Έτσι η μερική σκίαση αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά με αυτό τον τρόπο. Με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD 2012 σχεδιάζεται η βάση στήριξης με κλίση στις 30⁰ και χωροθετείται η ταράτσα του αντικειμένου μελέτης με νότιο προσανατολισμό (αζιμουθιακή γωνία=0⁰). Το υλικό της βάσης είναι από κράμα αλουμινίου, οι ντίζες και τα παξιμάδια πάκτωσης είναι ανοξείδωτες μεγέθους M10 και τέλος σε τυχούσα επαφή σιδήρου με αλουμίνιο (Fe-Al) τοποθετείται ελαστικό παρέμβυσμα 3mm για να αποφευχθεί το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης όπου θα είχε ως συνέπεια, μακροπρόθεσμα, την καταστροφή της βάσης.



Σχήμα 5.8.α.: Πλάγια όψη βάσης στήριξης.



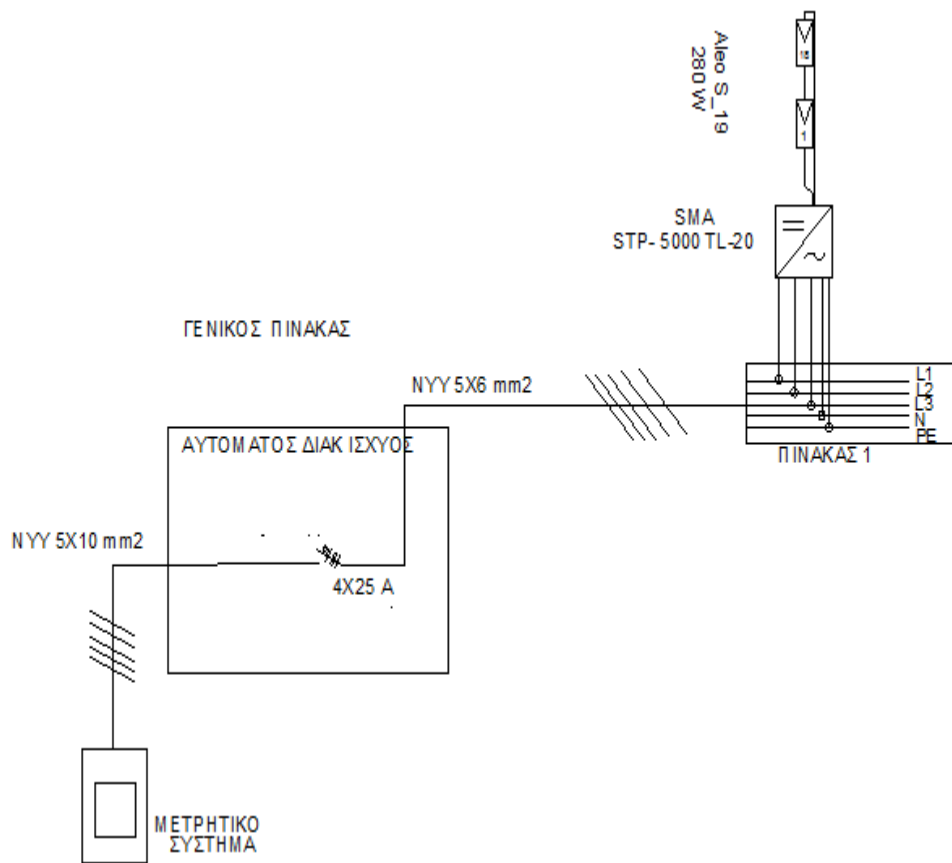
Σχήμα 5.8.β.: Χωροθέτηση φβ πλαισίων στην οικία.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια το ύψος της βάσης είναι περίπου στα 2 m μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπτό ύψος βάσει της κείμενης πολεοδομικής νομοθεσίας που είναι τα 2,5 m, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε διπλή σειρά με συνολικό μήκος της βάσης τα 9 m και πλάτος (προβολή στο έδαφος) τα 3,4 m. Ο τρόπος χωροθέτησης αφήνει ελεύθερο όλο το χώρο στην οπίσθια πλευρά της βάσης για εκμετάλλευση από τον ιδιοκτήτη, έχει κενό, όπως φαίνεται στο σχήμα, πάνω από 1 m, περιμετρικά της, έτσι ώστε να είναι προσβάσιμη από την εμπρόσθια πλευρά κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης αλλά και για οποιαδήποτε παρέμβαση αργότερα.



Εικόνα 5.1.: Τρισδιάστατη εικόνα της βάσης στήριξης.

Στη συνέχεια σχεδιάζεται το μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του φωτοβολταϊκού συστήματος όπου φαίνονται οι καλωδιώσεις που θα χρησιμοποιηθούν, οι ασφαλοδιακόπτες και η σύνδεση των εξαρτημάτων (φωτοβολταϊκά πλαίσια, αντιστροφείας).



Σχέδιο 5.9.: Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο ΦΒ συστήματος

5.5 Ενεργειακά αποτελέσματα

Τα ενεργειακά αποτελέσματα διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά εξ' ολοκλήρου το σύστημα μελέτης και το ενεργειακό κέρδος από την κατασκευή ενός νέου πλαισίου που έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό ρευστό R410A και οδηγείται στο συμπιεστή της αντλίας θερμότητας κι από την άλλη του φωτοβολταϊκού συστήματος όσον αφορά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ως αυτοπαραγωγή.

5.5.1 Μαθηματική ανάλυση συνδυασμένου συστήματος αντλίας θερμότητας-PV/T.

Τα θεωρητικά και μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην ενεργειακή ανάλυση του νέου φωτοβολταϊκού πλαισίου, όπως αναλύθηκε ανωτέρω, εστιάζονται στους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας της αγωγής, της συναγωγής και της ακτινοβολίας. Αγωγή έχουμε στην επαφή των μεταλλικών επιφανειών μεταξύ τους, συναγωγή στην μεταφορά του ρευστού εντός των χάλκινων σωληνών και με ακτινοβολία έχουμε την αρχική μεταφορά θερμότητας από τον Ήλιο. Σε μια τρισδιάστατη μεταφορά θερμότητας, όπως στην περιπτωσή μας, η ανάλυση είναι μια περίπλοκη διαδικασία που διανυσματικά δίνεται: **[4a]**

1) Μηχανισμός Αγωγής

$$\dot{q} = -k \left[\frac{dT}{dx} i + \frac{dT}{dy} j + \frac{dT}{dz} k \right] \quad (5.1)$$

k: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m K)

dT/dx: Διαφορικό Θερμοκρασίας ως προς διεύθυνση x

2) Μηχανισμός Συναγωγής

$$\dot{q} = h(T_s - T_\infty) \quad (5.2)$$

h: Συντελεστής συναγωγής (W/m² K)

3) Μηχανισμός Ακτινοβολίας

$$\dot{q} = \sigma AT^4 \quad (5.3)$$

σ: Σταθερά Stefan-Boltzman 5,67 10⁻⁸ W/m² K⁴

Τα υλικά από τα οποία αποτελείται το πλαίσιο είναι ισότροπα, δηλαδή έχουν την ίδια αγωγιμότητα προς όλες τις διευθύνσεις του χώρου, κάτι πολύ σημαντικό για την ανάλυση μας.

Το ενεργειακό κέρδος που προκύπτει από τη χρήση του εναλλάκτη PV/T εστιάζεται κυρίως στην απορρόφηση ενέργειας από το ρευστό λόγω συναγωγής. Αυτό το ενεργειακό κέρδος μεταφράζεται, στο ψυκτικό κύκλο, σε ενθαλπική (KJ/Kg) αξιοποίηση πριν το ρευστό εισέλθει για ισεντροπική συμπίεση στον παλινδρομικό συμπιεστή της αντλίας μας.

Καταστρώνοντας τα ισοζύγια ενέργειας πρέπει να τονιστεί ότι ο ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας παραμένει σταθερός καθώς σε καμία διαστρωμάτωση του πλαισίου δεν υπάρχει παραγωγή θερμότητας. [3a]

Ισοζύγια ενέργειας:

Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας γυαλιού-αλουμινίου σε Watt.

$$\dot{q}_1 = \frac{T_p - T_{al}}{R_p + R_{al}}, \quad (5.4)$$

Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας φύλλου αλουμινίου-χαλκού σε Watt.

$$\dot{q}_2 = \frac{T_{al} - T_{co}}{R_{al} + R_{co}}, \quad (5.5)$$

Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας χαλκού-φρεον σε Watt.

$$\dot{q}_3 = \frac{T_{co} - T_R}{R_{co} + R_R} \quad (5.6)$$

Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας φρεον-υαλοβάμβακα σε Watt.

$$\dot{q}_4 = \frac{T_R - T_{ial}}{R_R + R_{ial}} \quad (5.7)$$

Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας υαλοβάμβακα-αέρα σε Watt.

$$\dot{q}_5 = \frac{T_{ial} - T_{air}}{R_{ial} + R_{air}} \quad (5.8)$$

Όπως προαναφέρθηκε $\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = \dot{q}_3 = \dot{q}_4 = \dot{q}_5$ (5.9) αφού δεν έχουμε παραγωγή ενέργειας, τότε ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας πλαισίου-αέρα δίνεται από τη παρακάτω σχέση:
σε Watt.

$$\dot{q}_s = \frac{T_p - T_{air}}{R_p + R_{al} + R_{co} + R_R + R_{ial} + R_{air}} \quad (5.10)$$

Όπου R οι αντιστάσεις αγωγής και συναγωγής της θερμότητας.

Όπου $R_p = \frac{L_p}{k_p \cdot A_p}$ (5.11) Αντίσταση αγωγής γυάλινου πλαισίου,

και:

L πάχος πλαισίου

k_p συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας γυαλιού W/m·°C

A_p εμβαδόν επαφής

Ομοίως ισχύει για όλα τα μέρη του πλαισίου εκτός του ρευστού R-410A, το οποίο αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 4.

Η αντίσταση μεταφοράς θερμότητας του ρευστού με το χαλκό δίνεται από τη σχέση:

$$R_R = \frac{1}{h_R \cdot A} \quad (5.12)$$

όπου h : συντελεστής συναγωγής ρευστού σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Η αναλυτική εύρεση του συντελεστή συναγωγής προϋποθέτει την εύρεση τριών σημαντικών αδιάστατων μεγεθών από τα οποία εξαρτάται. [6]

- Αριθμός Prandlt $Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (5.13)$, μ δυναμικό ιξώδες $Pa \cdot s$,

C_p (J/kg⁰C) θερμοχωρητικότητα, k (W/m⁰C) θερμική αγωγιμότητα.

- Αριθμός Reynolds $Re = \frac{u \cdot L}{\nu} \quad (5.14)$, u (m/s) ταχύτητα ρευστού, L (m) μήκος εισόδου, ν (1/m²s) κινηματικό ιξώδες.

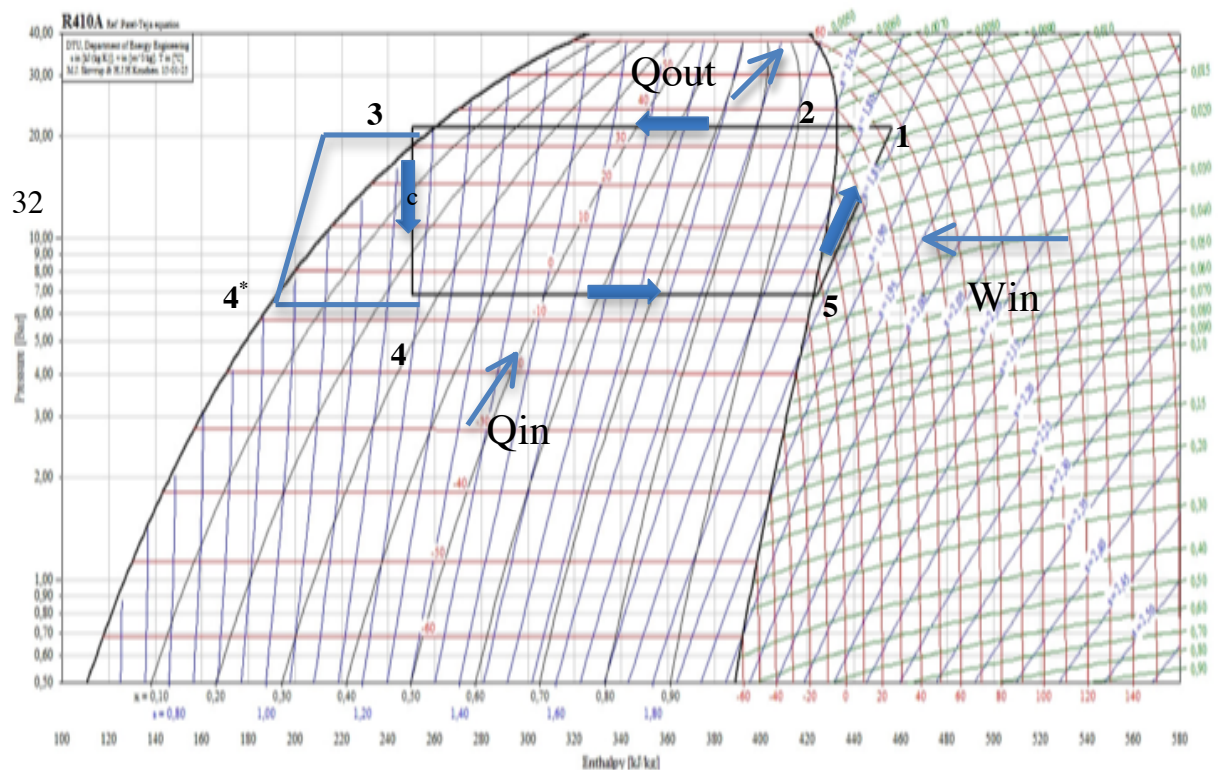
- Αριθμός Nusselt $Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (5.15)$, h συντελεστής συναγωγής(W/m²⁰C), L μήκος αγωγού, k (W/m⁰C) θερμική αγωγιμότητα.

- Ακόμη για $Re > 6000$ και $0,7 < Pr < 16000$ ισχύει ότι :

$$Nu = 0,027 Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_e}{\mu_w} \right) \quad (5.16)$$

5.5.2. Ανάλυση ψυκτικού κύκλου αντλίας θερμότητας κι ενεργειακά κέρδη.

Όπως έχει αναφερθεί εκτενώς τόσο στο κεφάλαιο 4 όσο και στο 3, το ψυκτικό ρευστό έχει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση μιας αντλίας θερμότητας τόσο στη ψύξη όσο και στη θέρμανση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το διάγραμμα από που προκύπτει ενεργειακά το κέρδος της απόδοσης της αντλίας λόγω του εναλλάκτη PV/T. Η μεταβολή 4* → 5 αφορά τον εναλλάκτη μας PV/T και 4- → 5 του εναλλάκτη-εξατμιστή της υφιστάμενης αντλίας. Το ρευστό εισάγεται στο εναλλάκτη μας σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία και πίεση είτε στη θέση 4*, με $p=7 \text{ bar}$ και $T=-3,6^\circ C$ κι εξέρχεται από τον συμπιεστή στη θέση 1 με $p=35 \text{ bar}$ και $T=55^\circ C$ βάση των προδιαγραφών του συμπιεστή της αντλίας θερμότητας ισχύος 16 kW που χρησιμοποιείται στο σύστημα μελέτης.



Σχήμα 5.10.: Διάγραμμα πίεσης ενθαλπίας απεικόνισης ψυκτικών κύκλων αντλίας θερμότητας για θέρμανση

Η σκέψη δημιουργίας ενός εναλλάκτη ο οποίος θα λαμβάνει το ρευστό μετά την εκτονωτική βαλβίδα στη θέση 4* και θα οδηγείται στο συμπιεστή ύστερα από την απορρόφηση θερμότητας στη θέση 5, έχει το πλεονέκτημα ότι σε αυτές τις θέσεις το ρευστό εισέρχεται ως κορεσμένο υγρό ($x=0$) κι εξέρχεται ως κορεσμένος ατμός ($x=1$).

Όμως πρέπει να εξεταστεί αν αυτή η διεργασία είναι πρακτικά εφαρμόσιμη, αν δηλαδή το μήκος του εναλλάκτη είναι τέτοιο που ο συνδυασμός ενεργειακό κέρδος-κόστος συμφέρει σε μια τέτοια τροποποίηση.

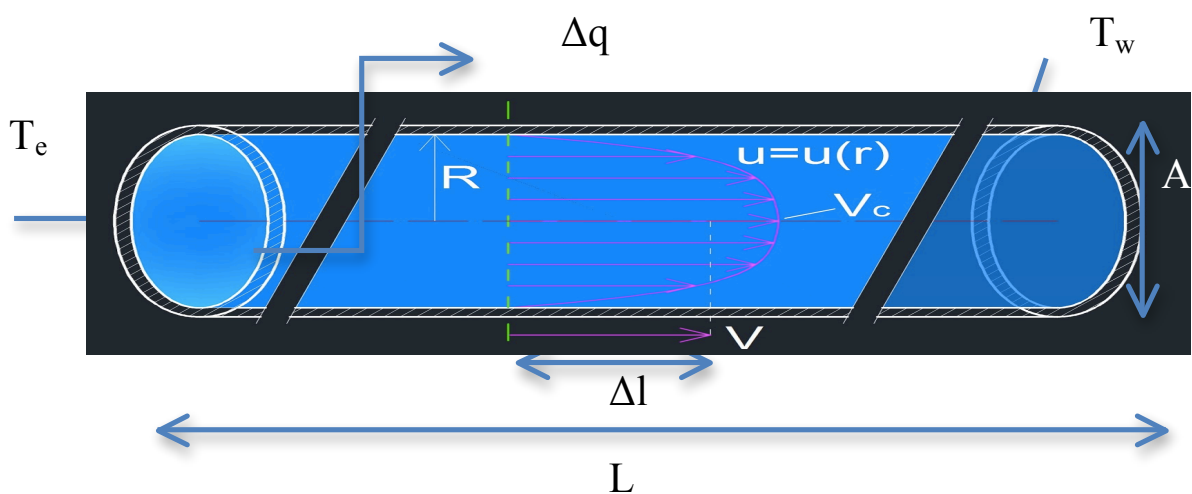
Έτσι λοιπόν διαστασιολογείται το μήκος του εναλλάκτη. Όμως το ρευστό κατά την απορρόφηση θερμότητας μεταβάλλει την ενθαλπία του και τη θέση του στο ανωτέρω διάγραμμα πίεσης- ενθαλπίας υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Αυτό σημαίνει μεταβολή στην ταχύτητα του, την πυκνότητα, το ιξώδες, τη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα κι επομένως στο συντελεστή συναγωγής. Η μελέτη αυτού του φαινομένου γίνεται χωρίζοντας σε πολλά μικρά τμήματα τον αγωγό (50 mm) κι εξετάζοντας κάθε στιγμή τη μεταβολή του ρευστού, μέχρι ενεργειακά να φτάσουμε στην κατάσταση του κορεσμένου ατμού. [5a],[6a]

Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα ο αγωγός μήκους L και εμβαδού A μοιράζεται σε πολύ μικρά Δl μήκη, με θερμοκρασία ρευστού T_e σταθερή στο $-3,6^{\circ}\text{C}$ και θερμοκρασία πλαισίου T_w σταθερή. Επειδή η αντλία χρησιμοποιείται το χειμώνα για

θέρμανση και σκοπός μας είναι να διαστασιοποιηθεί ο εναλλάκτης ώστε να αποδίδει την απαιτούμενη θερμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες, έτσι ως T_w επιλέγεται η χαμηλότερη κατά μέσο ημερήσιο όρο καταγεγραμμένη θερμοκρασία που είναι οι 5°C , θερμοκρασία περιβάλλοντος 2°C και $E=300\text{W/m}^2$. Το ποσό θερμότητας που απορροφάται κάθε στιγμή θα είναι:

$$\Delta q = \pi \cdot D \cdot \Delta l \cdot h \cdot (T_w - T_e), \text{ σε Watt. (5.17)}$$

Για κάθε μήκος λοιπόν εφαρμόζουμε τις εξισώσεις 5.5.13-5.5.16 και με χρήση διαδικτυακής βάσης δεδομένων εξάγονται οι ιδιότητες του ρευστού για κάθε 'θερμοδυναμική θέση' και πιο συγκεκριμένα πυκνότητα (kg/m^3), ιξώδες (Pa s), θερμική αγωγιμότητα ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$), θερμοχωρητικότητα ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$), ενθαλπία (kJ/kg) κι εντροπία ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$). [17]



Σχήμα 5.11.: Απεικόνιση κυλινδρικού αγωγού μελέτης ροής ψυκτικού ρευστού

Έτσι συλλέγονται πληροφορίες αρχικά για το ρευστό στην κατάσταση του κορεσμένου ατμού κι αναλύουμε την ροή του ανά 50mm , από τις πληροφορίες βρίσκουμε τον συντελεστή συναγωγής κι εν συνεχεία το Δq . Το ενεργειακό κέρδος προστίθεται στην υπάρχουσα ενθαλπία του ρευστού και από το διάγραμμα $p-h$ βρίσκεται η νέα θέση του. Για τη νέα θέση ορίζονται εκ νέου οι θερμοδυναμικές και ρευστομηχανικές ιδιότητες μέχρι την κατάσταση του κορεσμένου ατμού. Για την επαλήθευση της μεθόδου εφαρμόζεται δοκιμή και σφάλμα στα ενδιάμεσα διαστήματα.

Υστερα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω το συνολικό μήκος του εναλλάκτη για να επιτευχθεί αυτή η ενεργειακή κάλυψη είναι $9,25\text{m}$. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται 2 φωτοβολταϊκά πλαίσια, με μήκος εναλλάκτη στο καθένα $4,625$, για να επιτύχουμε τη διεργασία $4^* \rightarrow 5$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο λόγος R/d δηλαδή η ακτίνα καμπυλότητας προς τη διάμετρο του αγωγού πρέπει κατά την κατασκευή να προσεχθεί ώστε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος για να περιοριστούν οι απώλειες κι η μεταβολή της ταχύτητας

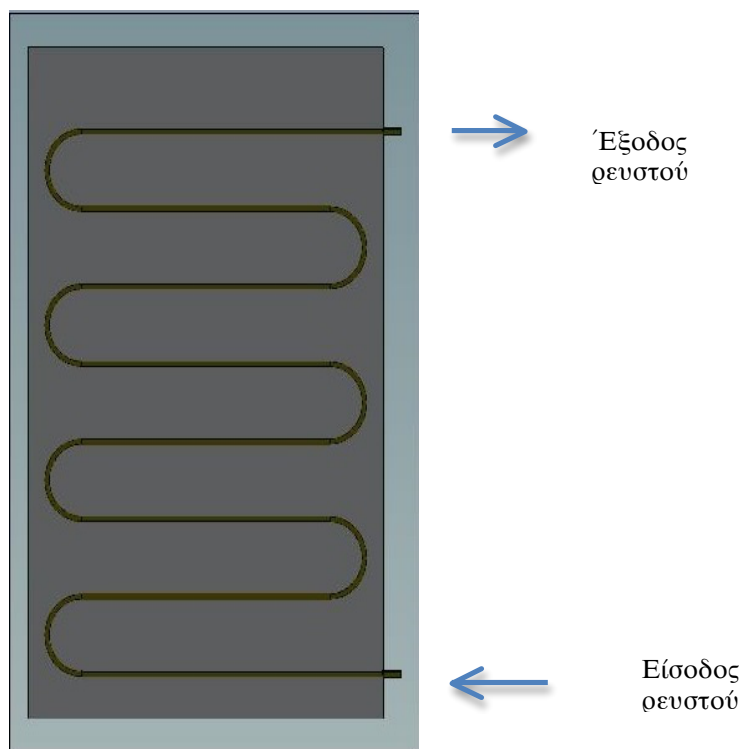
($R/d < 1/2$). Κατασκευαστικά για να περιοριστούν τέτοιου τύπου απώλειες, όταν ο λόγος R/d είναι αδύνατον να περιοριστεί, τοποθετούνται καθοδηγητικά περύγια εντός της σωλήνωσης. Για αυτό το λόγο κατά την ανάλυση θεωρείται η καμπύλη ως ευθύγραμμος αγωγός δίχως δευτερεύουσες απώλειες. [6α]

Το ρευστό για $T = -3,6^{\circ}\text{C}$ και $P = 7 \text{ bar}$ έχει τις εξής θερμοδυναμικές ιδιότητες:

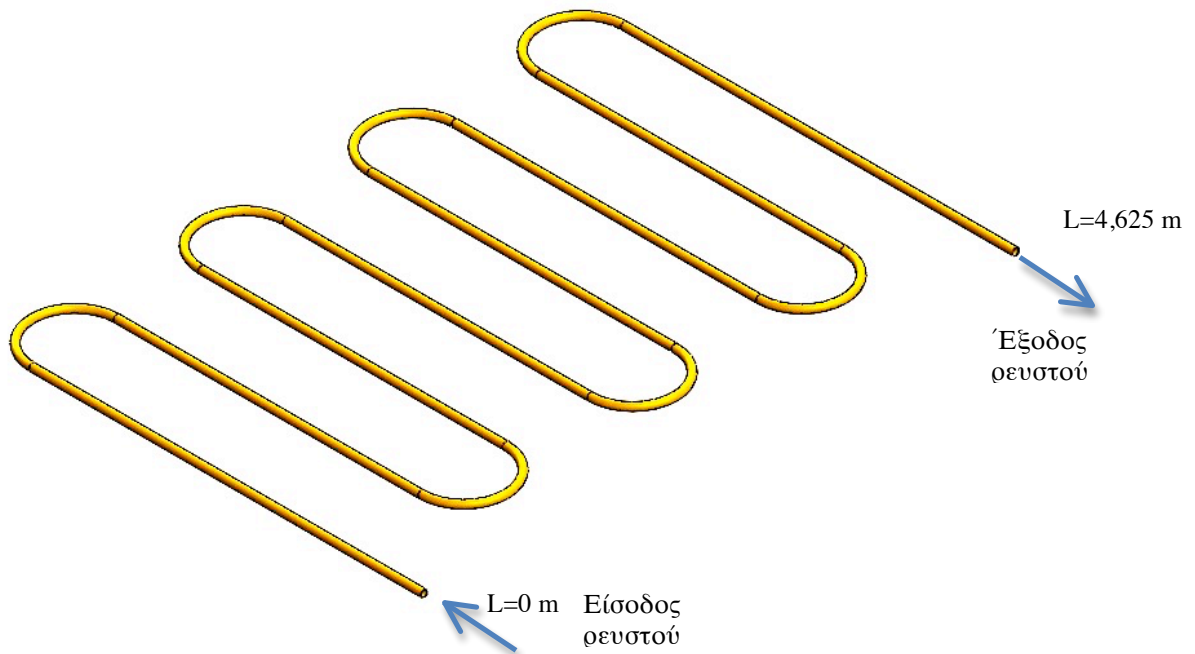
$V_l = 0,0008 \text{ m}^3/\text{kg}$	$d_l = 1193,1 \text{ kg/m}^3$	$h_l = 193,8 \text{ kJ/kg}$	$s_l = 0,9774 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
$V_g = 0,0372 \text{ m}^3/\text{kg}$	$d_g = 26,909 \text{ kg/m}^3$	$h_{lg} = 227,5 \text{ kJ/kg}$	$s_g = 1,8227 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
		$h_g = 421,4 \text{ kJ/kg}$	

Το ρευστό για $T = 55^{\circ}\text{C}$ και $P = 35 \text{ bar}$ έχει τις εξής θερμοδυναμικές ιδιότητες:

$V_l = 0,0012 \text{ m}^3/\text{kg}$	$d_l = 871,5 \text{ kg/m}^3$	$h_l = 297,9 \text{ kJ/kg}$	$s_l = 1,3169 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
$V_g = 0,0062 \text{ m}^3/\text{kg}$	$d_g = 162,252 \text{ kg/m}^3$	$h_{lg} = 124,6 \text{ kJ/kg}$	$s_g = 1,6965 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
		$h_g = 422,5 \text{ kJ/kg}$	



Σχήμα 5.12.: Απεικόνιση του εσωτερικού τμήματος χωροθέτησης των υλικών κατασκευής του πλαισίου. Με γκρι χρώμα διαφαίνεται το πλαίσιο αλουμινίου, οι σωληνώσεις φαίνονται με το σιγμοειδές σχήμα και με γαλάζιο χρώμα είναι το γυάλινο πλαίσιο.

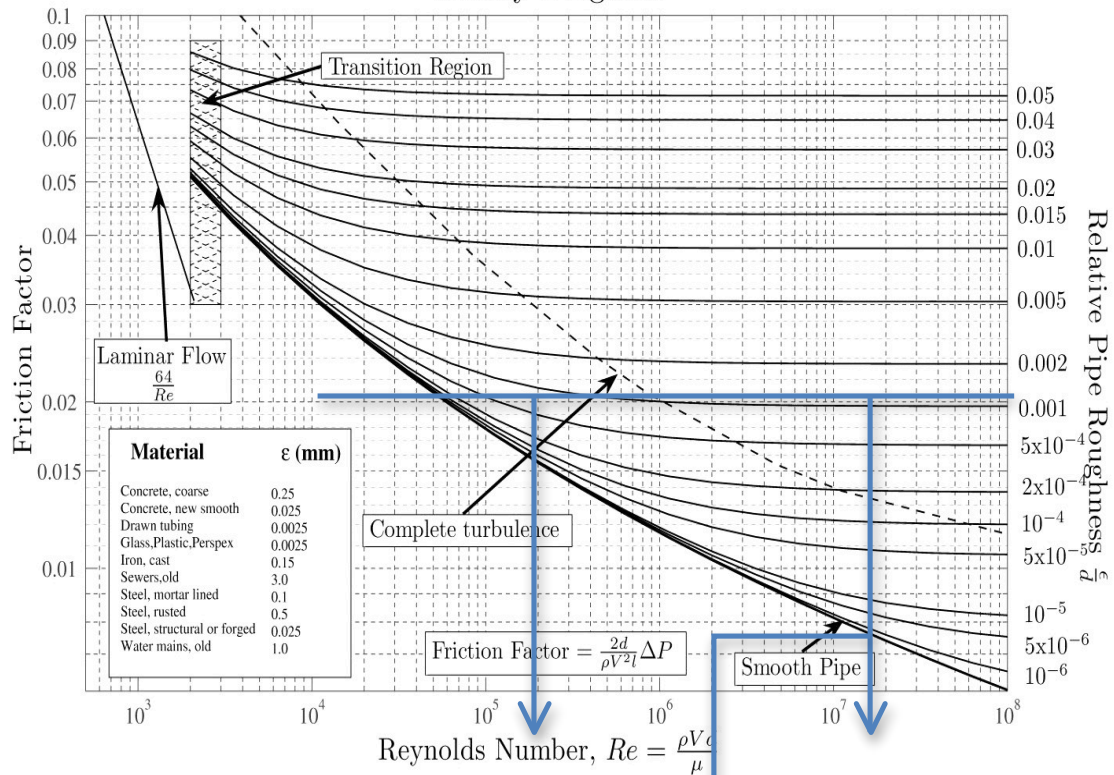


Σχήμα 5.13.: Απεικόνιση εναλλάκτη διέλευσης ρευστού στο οπίσθιο μέρος του φωτοβολταϊκού

Ο αριθμός Re κυμαίνεται μεταξύ $3,3 \cdot 10^5$ και $2,2 \cdot 10^7$ κι ο αριθμός Pr μεταξύ 2,4 ως 1,14, καλύπτοντας έτσι τις προϋποθέσεις εφαρμογής της Εξ. 5.5.16.

Η τραχύτητα του αγωγού που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν 10^{-3} . Από το διάγραμμα Moody που φαίνεται παρακάτω διαπιστώνει κανείς ότι στην περιοχή της πλήρους ανεπτυγμένης ροής μεταβαίνουμε όταν ο $Re \sim 10^6$ κι αυτό συμβαίνει όταν το ρευστό έχει διανύσει 25cm εντός της σωλήνωσης είτε η θερμοκρασία T_w είναι $5^\circ C$ όπου διαστασιολογήθηκε ο εναλλάκτης PV/T είτε στους $16^\circ C$ που είναι μια από τις υψηλότερες θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί.

Moody Diagram



Σχήμα 5.14.: Διάγραμμα Moody. Συσχέτιση τραχύτητας με αριθμό Re και συντελεστή τριβής, διαχωρισμός πλήρους ανεπτυγμένης τυρβώδους ροής και μη.

Διάστημα ροής ρευστού στον αγωγό

Επομένως έχουμε ότι το νέο COP' που προκύπτει θα είναι:

$$COP' = \frac{Q'_{out}}{W'} \quad (5.18)$$

Αν υποθέσουμε ότι ο συμπιεστής εκτελεί το ίδιο έργο τότε $W=W'$.

$$COP' = \frac{Q'_{out}}{W'} \frac{COP}{COP'} = \frac{Q_{out}}{W} = \frac{Q_{in} + W}{Q'_{in} + W'} < 1 \Rightarrow COP < COP', \text{ Αφού από το διάγραμμα}$$

διαφάνεται ότι η διεργασία 4* → 5 έχει μεγαλύτερο Δh από το την 4 → 5, η νέα απόδοση της αντλίας είναι μεγαλύτερη.

Τοποθετώντας και τα αριθμητικά δεδομένα των ενθαλιπών βλέπουμε ότι:

$$\begin{aligned} COP &= 4,125 * \\ COP' &= 5,125 \end{aligned}$$

Το κέρδος που επιτυγχάνεται είναι 19,5%

* Το COP της αντλίας θερμότητας ταυτίζεται με αυτά των τεχνικών της εγχειριδίων.

5.5.3. Ενεργειακά κέρδη λόγω ψύξης φβ στοιχείων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού είναι αρκετοί και ποικίλουν. Πιο συγκεκριμένα [2a]:

1. Απώλειες μειωμένης καθαρότητας
2. Απώλειες ανακλαστικότητας
3. Απώλειες χαμηλών τιμών ακτινοβολίας
4. Φασματικές απώλειες
5. Απώλειες πόλωσης
6. Απώλειες θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας
7. Απώλειες στη δίοδο αντεπίστροφης

Ο συνολικός συντελεστής απωλειών δίνεται από το γινόμενο των επιμέρους συντελεστών:

$$\eta_{tot} = \eta_{cl} \cdot \eta_{ref} \cdot \eta_{rad} \cdot \eta_{spec} \cdot \eta_{pol} \cdot \eta_T \cdot \eta_{diode} \quad (5.19)$$

Ο παράγοντας απωλειών που βελτιώνεται με τη ροή ψυκτικού ρευστού στο νέο πλαίσιο PV/T είναι η θερμοκρασία, καθώς είναι ο πιο άμεσα επιλύσιμος μετά την καθαρότητα του πλαισίου. Η προσεγγιστική έκφραση υπολογισμού της απόδοσης λόγω του παράγοντα θερμοκρασίας, με θερμοκρασία αναφοράς τους 25⁰C δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_T = 1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_c - \theta_{stc}) \quad (5.20)$$

όπου $\gamma_{mp} = -0,0045/K$ για $T=20^0C-60^0C$, για το πυρίτιο.
 θ_c : θερμοκρασία κυψελίδας.

Μια πιο αναλυτική έκφραση θερμοκρασίας της κυψελίδας είναι η ακόλουθη:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G_t}{G_{stc}} (T_1 \cdot e^{B \cdot ws} + T_2 + \Delta\theta) \quad (5.21)$$

με εμπειρικούς συντελεστές που ορίζονται βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας κυψελίδας.

$$T_1 = 19,6^0C$$

$$T_2 = 11,5^0C$$

$$\Delta\theta = 3^0C$$

$$B = -0,223 \text{ s/m}$$

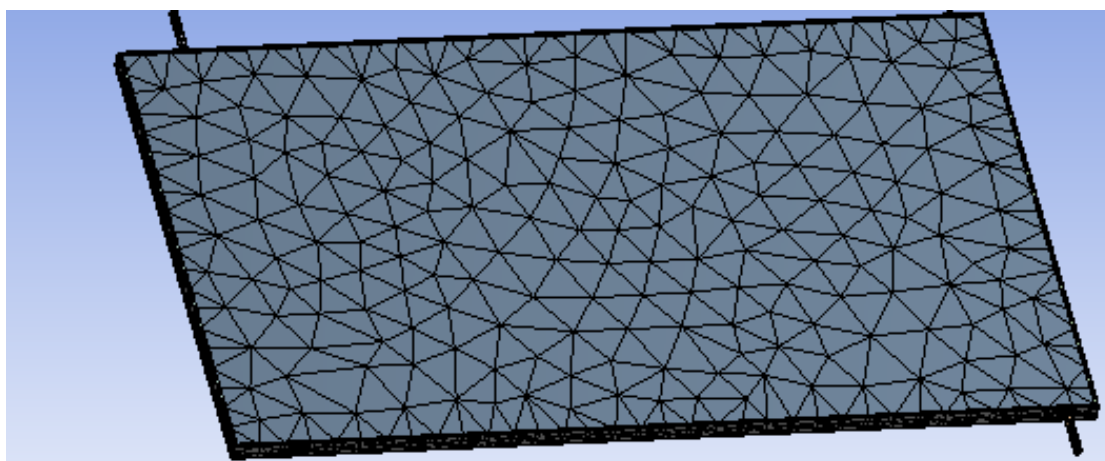
G_t, G_{stc} πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε W/m^2 .

ws ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10m με μονάδες m/s.

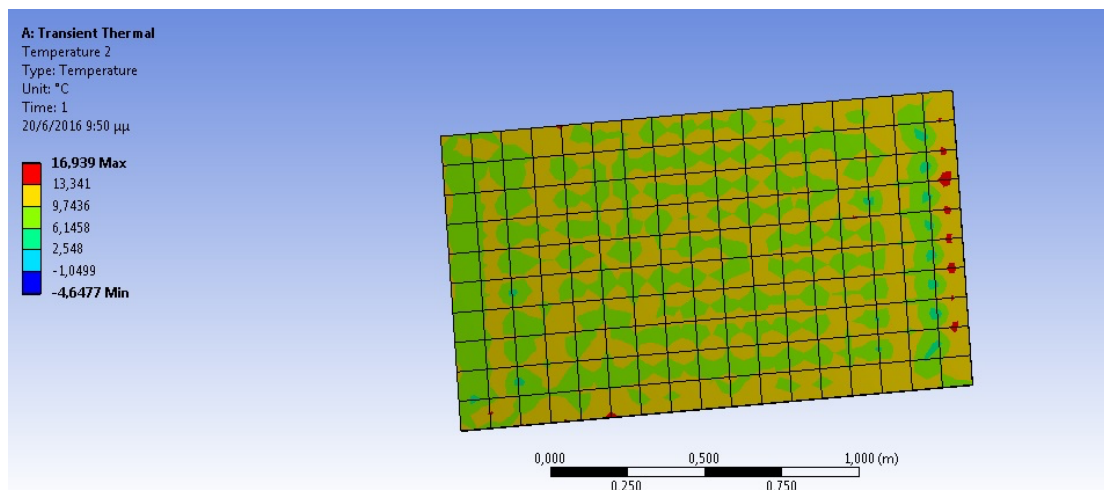
Η ανάλυση της ψύξης των κυψελών έχουν νόημα μόνο όταν η θερμοκρασία της κυψέλης, όπως λαμβάνεται από τα δεδομένα μέτρησης των οργάνων της τηλεμετρίας, ξεπερνά τους 25 βαθμούς. Άρα για όλα τα δεδομένα που η θερμοκρασία της κυψέλης είναι μικρότερη των 25 δεν λαμβάνονται υπόψη.

Λόγω της ύπαρξης θερμοζεύγους μέτρησης της κυψέλης η εξίσωση 5.20. δεν μας χρειάζεται παρά μόνο για λόγους επιβεβαίωσης του οργάνου. Επομένως η όλη ανάλυση γίνεται με τη χρήση της εξίσωσης 5.19.

Κατά την θερμική ανάλυση του πλαισίου διαπιστώνεται ότι σε καμία περίπτωση, εξαιτίας της διέλευσης του ρευστού, η θερμοκρασία της κυψέλης δεν ξεπερνά τους 25°C . Έτσι στην περίπτωση που συναντάμε τη μέγιστη θερμοκρασία $T_{\max}=59^{\circ}\text{C}$, θα είχαμε από την εφαρμογή της Εξ. 5.20. ότι η πτώση της απόδοσης εξαιτίας της θερμοκρασίας θα έφτανε $\eta_{T_{\max}}=15,3\%$. Κατά μέσο όρο το κέρδος τους θερινούς μήνες είναι 5%, ενώ τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία πλαισίου είναι πλησίον των 25°C οπότε το κέρδος είναι ελάχιστο (της τάξης του 0,8%) ή μηδαμινό (δεν υπάρχουν απώλειες από υπερθέρμανση κυψέλης).

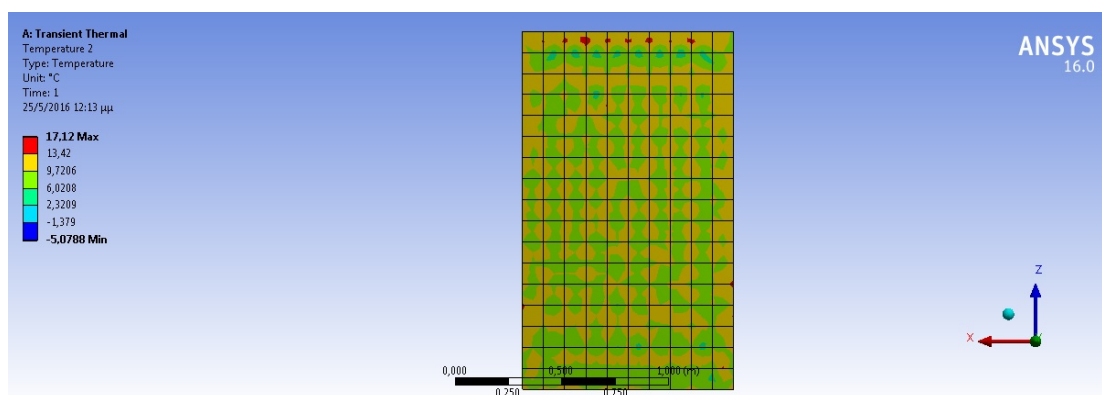


Εικόνα 5.2.: Τρισδιάστατη εικόνα της εμπρόσθιας όψης του PV/T σε επεξεργασία πεπερασμένων στοιχείων (meshing).



Εικόνα 5.3.: Τρισδιάστατη εικόνα της εμπρόσθιας όψης του PV/T σε επεξεργασία Ansys με $E_r=900 \text{ W/m}^2$ και $T_R=-3,6^{\circ}\text{C}$.

Η θερμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με σταθερή θερμοκρασία ρευστού στους $-3,6^{\circ}\text{C}$, σταθερή ηλιακή ακτινοβολία στα 900 W/m^2 , μηδενική απώλεια στο οπίσθιο μέρος του πλαισίου. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλαισίου διακυμαίνεται από 9°C ως $16,9^{\circ}\text{C}$, τη στιγμή που το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δίχως τη διέλευση ρευστού έχει μέση θερμοκρασία 45°C .



Εικόνα 5.4.: Τρισδιάστατη εικόνα της εμπρόσθιας όψης του PV/T σε επεξεργασία Ansys με $E_r=1100 \text{ W/m}^2$ και $T_R=-3,6^{\circ}\text{C}$.

Η θερμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με σταθερή θερμοκρασία ρευστού στους $-3,6^{\circ}\text{C}$, σταθερή ηλιακή ακτινοβολία στα 900 W/m^2 , μηδενική απώλεια στο οπίσθιο μέρος του πλαισίου. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλαισίου διακυμαίνεται από $9,5^{\circ}\text{C}$ ως $17,12^{\circ}\text{C}$, τη στιγμή που το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δίχως τη διέλευση ρευστού έχει μέση θερμοκρασία 47°C .

Γίνεται σαφές ότι η θερμοκρασία του πλαισίου αλλά κι ενεργειακή εξοικονόμηση της αντλίας θερμότητας από την απορρόφηση ενέργειας είναι άμεσα εξαρτώμενες από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνεται το ενεργειακό κερδός και η απόδοση της αντλίας θερμότητας. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε με μια μέση ηλιακή ακτινοβολία του χειμώνα, 600 W/m^2 και 5°C στο επίπεδο του πλαισίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6– ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ

6.1 Οικονομοτεχνικά στοιχεία

Όπως αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο της διαστασιολόγησης του φωτοβολταϊκού συστήματος, για να επιτύχουμε ενεργειακό συμψηφισμό, απαιτείται σύστημα 5 kWp. Έτσι επιλέγεται ο εξοπλισμός του συστήματος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤ.	ΚΑΘ. ΤΙΜΗ(€)	ΦΠΑ (€)	ΣΥΝΟΛΟ(€)
ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΑ	5040 Wp	3386,88	778,9824	4165,8624
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ	1	1680	386,4	2066,4
ΑC ΚΥΤΙΑ	1	600	138	738
MONITORING	1	420	96,6	516,6
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	5040 Wp	725,76	166,9248	892,6848
ΚΑΛΩΔΙΟ DC	100m	90	20,7	110,7
ΚΑΛΩΔΙΟ AC	50m	50	11,5	61,5
ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ/ΒΥΣΜΑΤΑ	50	50	11,5	61,5
ΕΡΓΑΣΙΑ	5040 Wp	1000	230	1230
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		8002,64	1840,607	9843,2472

Πίνακας 6.1.: Οικονομικά στοιχεία προμήθεια κι εγκατάστασης συστήματος

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος από τον ιδιώτη ανέρχεται στις 9.834,25 € συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α. 23%. Διαπιστώνει κανείς ότι στη στήλη της ποσότητας, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι βάσεις στήριξης κι η εργασία υπολογίζονται βάσει της ισχύος του συστήματος καθώς οι τιμές στην αγορά για τα προαναφερθέντα δίνονται σε €/Wp κι όχι τμχ. Για την περαιτέρω διερεύνηση της απόδοσης του συστήματος λαμβάνεται υπόψη η 25 ετής διάρκεια του συμβολαίου ενεργειακού συμψηφισμού όπως αυτό εκδίδεται από το αντίστοιχο υποκατάστημα του ΔΕΔΔΗΕ. Ακόμη προσμετρούνται και τα κάτωθι στοιχεία:

Πληθωρισμός (%)	3,00%
Κόστος αγοράς kWh από πάροχο(€)	0,10252 €
Μεταβολή κόστους kWh ανά έτος (%)	3,00%
Κόστος ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,02487 €
Κόστος χρήσης δικτύου (€/kWh)	0,02140 €
Κόστος χρήσης διανομής (€/kWh)	0,00541 €
Επιτόκιο Δανεισμού(%)	-
Διάρκεια αποπληρωμής Δανείου	-
ΦΠΑ επί των χρεώσεων του πάροχου ενέργειας	13,00%
Καθεστώς ΦΠΑ επί του εξοπλισμού προς πώληση	23,00%

Η τιμή της kWh αφορά το τιμολόγιο της Δ.Ε.Η. κι όχι άλλων παρόχων, οι οποίοι έχουν χαμηλότερη τιμή kWh. Η διαφορά δεν είναι τέτοια (για μικρές καταναλώσεις, όπως η περίπτωση μελέτης) που να δημιουργεί ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στα

αποτελέσματα της μελέτης. Υπολογίζεται 3% η αύξηση της kWh άνα έτος, βάσει στοιχείων των τελευταίων ετών, η οποία ταυτίζεται με την αύξηση του πληθωρισμού. Τέλος η λογική του ενεργειακού συμψηφισμού είναι η κατανάλωση της απαιτούμενης ενέργειας από το σύστημα τη στιγμή της παραγωγής. Αυτό πρακτικά είναι αδύνατο καθώς πολλές καταναλώσεις υφίστανται αφού έχει δύσει ο ήλιος, κυρίως το χειμώνα, αλλά ακόμα και κατα τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπάρχει συννεφιά μην αφήνοντας το σύστημα να αποδώσει τα απαιτούμενα. Επομένως κατανοεί κανείς ότι το σύστημα δεν ταυτοχρονίζεται επακριβώς με την κατανάλωση αλλά βάσει πληροφοριών από τη μελέτη τέτοιων συστημάτων σε χώρες όπου εφαρμόζονται αρκετά έτη, υπολογίζεται ένας ταυτοχρονισμός περίπου 80% για τις οικίες και 65% για τις επιχειρήσεις. Πιο αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι περιπτώσεις εξοικονόμησης χρημάτων από το λογαριασμό ηλεκτρικού ρεύματος στην 25 ετία σε αντιστοιχία με τον ταυτοχρονισμό του συστήματος.

n (ΕΤΗ)	Παραγωγή Ηλ.Ενέργειας (kWh)	Ετήσια Εξοικονόμηση(80% ταυτοχρονισμό)	Ετήσια Εξοικονόμηση (0% Ταυτοχρονισμό)	Ετήσια Εξοικονόμηση (100% Ταυτοχρονισμό)
1	7208	1.145,71 €	808,96 €	1.216,76 €
2	7157,544	1.167,62 €	833,23 €	1.241,03 €
3	7107,441192	1.190,28 €	858,23 €	1.266,03 €
4	7057,689104	1.213,70 €	883,98 €	1.291,77 €
5	7008,28528	1.237,91 €	910,50 €	1.318,29 €
6	6959,227283	1.259,74 €	934,62 €	1.341,03 €
7	6910,512692	1.278,77 €	955,92 €	1.359,48 €
8	6862,139103	1.298,29 €	977,70 €	1.378,44 €
9	6814,104129	1.318,33 €	999,99 €	1.397,92 €
10	6766,405401	1.338,89 €	1.022,77 €	1.417,92 €
11	6719,040563	1.359,99 €	1.046,08 €	1.438,47 €
12	6672,007279	1.381,63 €	1.069,92 €	1.459,56 €
13	6625,303228	1.403,83 €	1.094,31 €	1.481,21 €
14	6578,926105	1.426,61 €	1.119,25 €	1.503,45 €
15	6532,873622	1.449,96 €	1.144,75 €	1.526,26 €
16	6487,143507	1.473,91 €	1.170,84 €	1.549,68 €
17	6441,733503	1.498,48 €	1.197,53 €	1.573,71 €
18	6396,641368	1.523,66 €	1.224,82 €	1.598,37 €
19	6351,864878	1.549,48 €	1.252,73 €	1.623,67 €
20	6307,401824	1.575,96 €	1.281,28 €	1.649,62 €
21	6263,250012	1.603,09 €	1.310,48 €	1.676,25 €
22	6219,407261	1.630,91 €	1.340,35 €	1.703,55 €
23	6175,871411	1.659,42 €	1.370,90 €	1.731,56 €
24	6132,640311	1.688,65 €	1.402,14 €	1.760,27 €
25	6089,711829	1.718,60 €	1.434,09 €	1.789,72 €
Μ.Ο.	6633,806595	1.415,74 €	1.105,82 €	1.491,76 €
ΣΥΝΟΛΑ		35.393,45 €	27.645,38 €	37.294,03 €

Πίνακας 6.2: Κέρδη από λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του ταυτοχρονισμού του συστήματος

Κατά τη διάρκεια της 25 ετίας όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1.2. υπάρχει μια σταθερή πτώση της απόδοσης του συστήματος, όπως ακριβώς περιγράφεται στις τεχνικές

οδηγίες των πλαισίων (κυρίως λόγω γήρανσης των κυψελών). Ουσιαστικά στην οικονομοτεχνική μελέτη συμπεριλαμβάνεται αυτή η γραμμική πτώση της απόδοσης **0,7%/έτος**.

6.2. Οικονομοτεχνική ανάλυση

Για να αποφανθεί κάποιος για το αν μια επένδυση είναι συμφέρουσα πρέπει να υπολογιστούν δυο σημαντικοί οικονομικοί δείκτες:

1. Η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV)
2. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR-Internal Rate of return)

Πιο αναλυτικά η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (cost of funds) που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη (economics), στα χρηματοοικονομικά (finance) και στη λογιστική (accounting) για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι. Η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών υπολογίζεται με την προεξόφληση τους χρησιμοποιώντας το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate)

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{\text{TAMEIAΚΕΣΕΙΣΡΟΕΣ}}{(1+r)^t} - \text{ΑΡΧΙΚΗΕΠΕΝΔΥΣΗ} \quad (6.1)$$

Η μέθοδος του εσωτερικού βαθμού απόδοσης IRR δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους οι οποίες προέρχονται από το πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης υπολογίζεται ως εξής: εξισώνοντας την παρούσα αξία της αναμενόμενης καθαρής εισροής μετρητών με την παρούσα αξία της εκροής μετρητών.

$$CF_0 = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (6.2)$$

Όπου :

- CF_t η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (η ταμειακή ροή μπορεί να πάρει θετική ή αρνητική τιμή), μετά από φόρους του έτους t και $t=0,1,2,\dots,n$

- IRR:ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Διαδικασία υπολογισμού Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης

1. Καθορισμός του ποσού που απαιτείται σήμερα για την επένδυση
2. Καθορισμός του ποσοστού του κόστους του κεφαλαίου (συνήθως δίνεται)
3. Καθορισμός των αναμενόμενων ετήσιων καθαρών ταμειακών εισροών μετά τους φόρους(μέχρι εδώ τα στάδια είναι ακριβώς ίδια με αυτά της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ))
4. Υπολογισμός του εσωτερικού βαθμού απόδοσης ,του επιτοκίου IRR το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των εισροών με την παρούσα αξία των εκροών μετρητών. (ΚΠΑ=0)
5. Σύγκριση του 4 με το 2

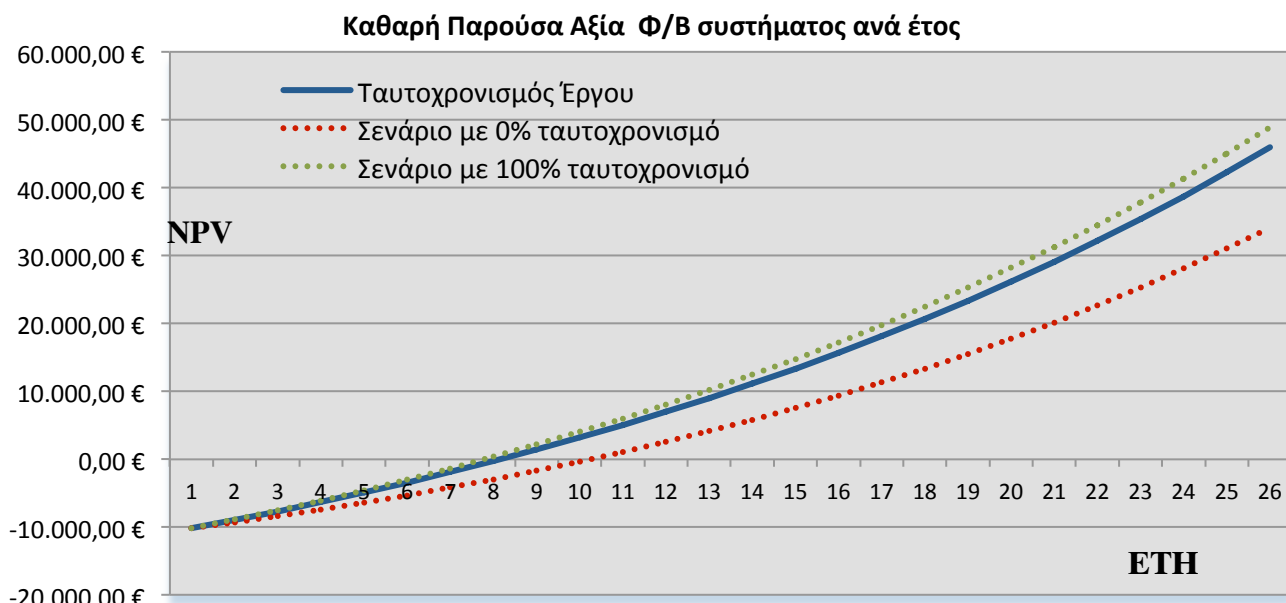
Κριτήριο Αποδοχής-Απόρριψης

Εάν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος με την απαιτούμενη απόδοση,η επένδυση γίνεται αποδεκτή. Στην αντίθετη περίπτωση, η πρόταση απορρίπτεται. Το κριτήριο αποδοχής βασίζεται στην ακόλουθη άποψη:Εάν η επιχείρηση αποδεχτεί ένα πρόγραμμα με εσωτερικό βαθμό απόδοσης ο οποίος υπερβαίνει το κόστος των κεφαλαίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την χρηματοδότηση του συγκεκριμένου προγράμματος, το πλεόνασμα το οποίο απομένει μετά την αποπληρωμή των κεφαλαίων το καρπώνονται οι μέτοχοι της επιχείρησης. Κατά συνέπεια η παραπάνω αποδοχή αυξάνει την χρηματιστηριακή τιμή της μετοχής της επιχείρησης και επομένως και τον πλούτο των μετοχών της.Στην περίπτωση αυτή,η απαιτούμενη απόδοση ονομάζεται και συντελεστής απόρριψης (hurdle rate or cutoff rate).

Βάσει της ανωτέρω ανάλυσης καταρτίζεται ο πίνακας 6.2.1. που εμφανίζει τις αντίστοιχες χρηματοροές και παρούσα αξία ανά έτος και στο σύνολο της 25 ετίας, για ταυτοχρονισμό συστήματος 80%.

n (ΕΤΗ)	Χρηματοροή	Παρούσα Αξία	Αθροιστική Χρηματοροή	Αθροιστική Παρούσα Αξία
0	-10.138,54 €	-10.138,54 €	-10.138,54 €	-10.138,54 €
1	1.145,71 €	1.215,49 €	-8.992,83 €	-8.923,06 €
2	1.167,62 €	1.275,89 €	-7.825,21 €	-7.647,16 €
3	1.190,28 €	1.339,67 €	-6.634,93 €	-6.307,49 €
4	1.213,70 €	1.407,01 €	-5.421,23 €	-4.900,48 €
5	1.237,91 €	1.478,13 €	-4.183,31 €	-3.422,35 €
6	1.259,74 €	1.549,33 €	-2.923,57 €	-1.873,02 €
7	1.278,77 €	1.619,91 €	-1.644,80 €	-253,11 €
8	1.298,29 €	1.693,98 €	-346,50 €	1.440,87 €
9	1.318,33 €	1.771,73 €	971,83 €	3.212,59 €
10	1.338,89 €	1.853,34 €	2.310,72 €	5.065,93 €
11	1.359,99 €	1.939,02 €	3.670,71 €	7.004,95 €
12	1.381,63 €	2.028,97 €	5.052,34 €	9.033,93 €
13	1.403,83 €	2.123,42 €	6.456,17 €	11.157,35 €
14	1.426,61 €	2.222,61 €	7.882,78 €	13.379,96 €
15	1.449,96 €	2.326,76 €	9.332,74 €	15.706,72 €
16	1.473,91 €	2.436,16 €	10.806,66 €	18.142,88 €
17	1.498,48 €	2.551,06 €	12.305,13 €	20.693,93 €
18	1.523,66 €	2.671,75 €	13.828,80 €	23.365,68 €
19	1.549,48 €	2.798,54 €	15.378,28 €	26.164,22 €
20	1.575,96 €	2.931,74 €	16.954,23 €	29.095,96 €
21	1.603,09 €	3.071,69 €	18.557,33 €	32.167,66 €
22	1.630,91 €	3.218,74 €	20.188,24 €	35.386,40 €
23	1.659,42 €	3.373,27 €	21.847,66 €	38.759,67 €
24	1.688,65 €	3.535,65 €	23.536,31 €	42.295,32 €
25	1.718,60 €	3.706,31 €	25.254,91 €	46.001,63 €

Πίνακας 6.3.: Χρηματοροή επένδυσης και καθαρά παρούσα αξία.



Διάγραμμα 6.1.:Καθαρά παρούσα αξία συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας του έργου

Ταυτοχρονισμός Συστήματος	80,00%	0%	100%
Εσωτερικός Βαθμός απόδοσης επένδυσης (IRR)	12,03%	8,66%	12,82%
Χρόνια απόσβεσης επένδυσης	6,79	8,31	6,52
Εξοικονόμηση Συνολική	35.393,45 €	27.645,38 €	37.294,03 €

Πίνακας 6.4.: Ανάλυση απόσβεσης επένδυσης.

Σε συνέχεια της οικονομικής ανάλυσης εξάγονται πλέον συγκεκριμένα συμπεράσματα για την απόδοση της επένδυσης και των συνολικών χρημάτων που εξοικονομούνται λόγω της μη εξάρτησης από το λογαριασμό της ΔΕΗ.

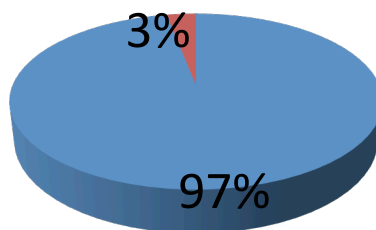
Η απόδοση του συστήματος (IRR) ανέρχεται στο 12,03% με καθαρό χρόνο απόσβεσης τα 6,79 έτη. Τα συνολικά χρήματα που εξοικονομούνται από την 25 ετή επένδυση είναι 35.393,45 €.

Διαπιστώνεται ότι η διαφορά της τάξεως του 20% στον ταυτοχρονισμό δε φέρει ιδιαίτερη απόκλιση στην απόδοση της επένδυσης και στα έτη απόσβεσης. Αλλά φυσικά σκοπός είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη χρήση του συστήματος πετυχαίνοντας μεγαλύτερο ταυτοχρονισμό.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως κατά την εφαρμογή ενεργειακού συμφητισμού δε διακόπτεται η ηλεκτροδότηση από το δίκτυο της ΔΕΗ γιατί στις περιπτώσεις που το σύστημα δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στην κάλυψη των καταναλώσεων τότε το δίκτυο λειτουργεί συμπληρωματικά, ως 'μπαταρία'. Αυτή η χρήση του δικτύου στο σύστημα που εξετάζεται φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

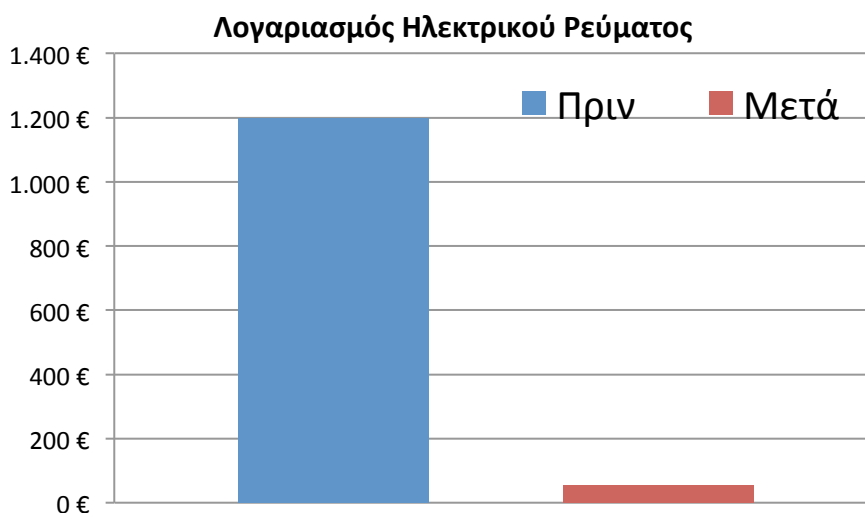
Συνεισφορά κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας

■ Παραγωγή Φ/Β ■ Δίκτυο



Διάγραμμα 6.2.:Κάλυψη κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ

Για αυτόν ακριβώς το λόγο δεν υπάρχει πλήρης απαλλαγή από το λογαριασμό του παρόχου αλλά ανάλογα της χρήσης και του ταυτοχρονισμού πληρώνεται κάποιο αντίτιμο σε τετραμηνιαία βάση. Στην υπό μελέτη περίπτωση αυτό φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3.:Απεικόνιση λογαριασμού παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας πριν και μετά την εφαρμογή του net metering

Έτσι ο ετήσιος λογαριασμός ηλεκτρικού ρεύματος από τα 1.200€ διαμορφώνεται στα 54,29€.

Πρέπει να σημειωθεί ότι θεωρήθηκε η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σταθερή χωρία καμία προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας (αλλαγές λαμπτήρων σε led, εξοικονόμηση από κλιματιστικές μονάδες A+ ενεργειακής κλάσης καθώς και των υπόλοιπων οικιακών συσκευών, μόνωση για ελάττωση απωλειών θέρμανσης και ψύξης κ.ό.κ.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7– ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η τροποποίηση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου σε εναλλάκτη PV/T έχει ως αποτέλεσμα να σταματήσει η ισχύς της 10 ετούς εγγυήσης προϊόντος και 25 ετούς εγγυήσης απόδοσης.
2. Το κέρδος λόγω ψύξης των κυψελών μπορεί να φτάσει ως το 15,3% τους θερινούς μήνες και κατά μέσο όρο 5%. Αυτό δε σημαίνει ότι κερδίζει σε συνολική απόδοση 5% αλλά σε ότι αφορά την πτώση της απόδοσης του λόγω της θερμοκρασίας.
3. Παρεμφερείς μελέτες, πειραματικές, σε επίπεδο φβ κυψέλης δίνουν αύξηση της συνολικής απόδοσης της μέχρι 2% και μεταβολή του COP της αντλίας θερμότητας ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας από 2,9 (200 W/m²) ως 4,6 (800 W/m²), αύξηση 36,95% .
4. Η απόδοση της αντλίας ανεβαίνει κατά 1 μονάδα σε σχέση με την προηγούμενη με ποσοστιαίο κέρδος 19,5%. Το συνολικό εμβαδόν ΦΒ που απαιτείται είναι 3,4 m² με μήκος εναλλάκτη 9,25 m διατομής 15,9 mm.
5. Η εφαρμογή του net metering-ενεργειακού συμψηφισμού αποσβένει το κεφάλαιο σε 6,79 χρόνια υπολογίζοντας μεσοσταθμική αύξηση της τιμής της kWh 3%, πληθωρισμό 3% και κόστος εξοπλισμού-εγκατάστασης 9.843,25€.
6. Η αύξηση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

- 1) Kalogirou A.S., “Solar Energy Engineering, Processes and Systems”, 1st ed., Elsevier, 2009.
- 2) Hulstrom R.L., “Solar resources”, The MIT press, 1989.
- 3) Boyle G., “Renewable Energy”, Oxford University Press, Oxford, 1996.
- 4) Markvart T., “Solar Electricity”, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2001.
- 5) Duffie J.A., Beckman W.A. , “Solar engineering of thermal processes” ,Wiley-Interscience, New York, 1980
- 6) Transport Processes and Unit operation, 3rd Edition, Christie J. Geankoplis, University of Minesota 1993, p. 236-247

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1a) Πέρδιος Σ., “Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις ΤεΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2007.
- 2a) Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/νίκη 2009, σελ.186-196
- 3a) Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., “Ενεργειακή Ανάλυση Βιομηχανικών Συστημάτων”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2010.
- 4a) Δ. Ασημακόπουλος, Β.Λυγερού, Γ. Αραμπατζής, “Μεταφορά Θερμότητας”, Αθήνα 2008, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελ. 7-30, 61-63, 271-289.
- 5a) Άγγελου Θ.Παπαϊώαννου, “Μηχανική Ρευστών”, Τόμος 1, Β έκδοση, Αθήνα 2002, σελ. 36-37, 87-92.
- 6a) Άγγελου Θ.Παπαϊώαννου, “Μηχανική Ρευστών”, Τόμος 2, Β έκδοση, Αθήνα 2002, σελ. 25-29, 187-230.
- 7a) Β.Η. Σελλούντος, “ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ”, Τόμος Α, Γ΄ Έκδοση, Αθήνα 2002, Εκδόσεις Τεκδοτική, σελ. 7.2.1.-7.2.8.2.
- 8a) Β.Η. Σελλούντος, “ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ”, Τόμος Β, Γ΄ Έκδοση, Αθήνα 2002, Εκδόσεις Τεκδοτική, σελ. 12.1.-12.3.6.
- 9a) Άγγελου Θ.Παπαϊώαννου, “ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Γ”, Τόμος 1, Α΄ έκδοση, Αθήνα 2007, σελ. 360-408
- 10a) Ν.Γ.Κουμούτσου, “ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992, σελ.416-446

Δημοσιευμένες εργασίες

- a) Hongbing Chen, Saffa B. Riffat, Yu Fu, Experimental study on a hybrid photovoltaic/heatpump system, University of Notingham, August 2011
- b) Fu Yu, Investigation of solar assisted heat pump system integrated residential building, PhD Thesis, University of Notingham, 2014
- c) Δρ. Εμμανουήλ Κακαράς, Δρ. Σωτήριος Καρέλλας, Δρ. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Δρ. Παναγιώτης Γραμμέλης, Πλάτων Πάλλης, Εμμανουήλ Καραμπίνης, Εργαστήριο ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Ε.Μ.Π. ,Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών κι Ενεργειακών Πόρων, Ε.Κ.Ε.Τ.Α., Ιανουάριος 2013.

Ιστοσελίδες

- I1) Υ.ΠΕ.ΚΑ. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής:
<http://www.ypeka.gr/>
- I2) ΔΕΣΜΗΕ Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας:
<http://www.desmie.gr/>
- I3) Δ.Ε.Η. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού : <http://www.dei.gr/>
- I4) Ρ.Α.Ε. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας : <http://www.rae.gr/>
- I5) Σελίδες της Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Islanding>
http://en.wikipedia.org/wiki/Verband_der_Elektrotechnik,_Elektronik_und_Informationstechnik
<http://en.wikipedia.org/wiki/Diode>
- I6) Ιστοσελίδα υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- I7) Ιστοσελίδα υπολογισμού ιδιοτήτων ρευστού:
<http://irc.wisc.edu/properties/>
- I8) http://www2.fkf.mpg.de/crystal/D4-CZ_growth.pdf
- I9) www.aerioattikis.gr

Handbooks

- I. Thermodynamic Properties of Du PontTM of Suva^R 410A: Properties, Uses, Storage and Handling
- II. Transport Properties of Suva 410A Refrigerant: Viscosity, Thermal Conductivity and Heat Capacity.