

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ 1216

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ
ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ,
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ
ΥΜΕΝΑ, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΙΚΙΑ.»**

**«HYBRID THERMO-VOLTAIC SYSTEMS
WITH BASED ON THE TECHNOLOGY OF
THIN FILM.AN APPLICATION IN THE
DOMESTIC SECTOR»**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΚΑΨΑΛΗ ΕΥΔΟΞΙΑ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ**

ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2012



**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ
ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ,
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ
ΥΜΕΝΑ, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΙΚΙΑ.»**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	2
Περίληψη.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Περιβάλλον & Ενέργεια.....	7
1.1. Ενέργεια.....	8
1.1.1. Το ενεργειακό πρόβλημα.....	8
1.1.2. Ορυκτά καύσιμα.....	10
1.1.3. Πυρηνική ενέργεια.....	10
1.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	10
1.1.5. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	11
1.2. Περιβάλλον.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Φωτοβολταϊκά.....	17
2.1. Φ/Β Συστήματα.....	18
2.1.1. Ιστορική Αναδρομή.....	18
2.1.2. Αρχές Λειτουργίας.....	19
2.1.3. Πως Λειτουργούν ;.....	22
2.1.4. Φωτοβολταϊκές Μονάδες και Συστοιχίες.....	22
2.1.5. Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	233
2.1.6. Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	244
2.1.7. Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	255
2.1.8. Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων.....	31
2.2. Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα.....	36
2.3. Παραδείγματα Εφαρμογών.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Τεχνολογίες Φ/Β.....	41
3.1. Τύποι Φωτοβολταϊκών Υλικών.....	41
3.2. Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	43
3.3. Νέα υλικά για Φ/Β στοιχεία.....	44
3.4. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Κινητής Βάσης.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού Υμένα(Thin film PV).....	47
4.1. Τεχνολογία λεπτού υμένα.....	47
4.2. Πλεονεκτήματα φ/β λεπτού υμένα.....	48
4.3. Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα.....	48
4.3.1. Οργανικά φ/β.....	48
4.3.2. Ανόργανα φ/β στοιχεία.....	49
4.3.3. I. a-Si.....	49
4.3.4. II. CdTe (Καδμίου - Τελλουρίου).....	50
4.3.5. III. CIS/CIGS.....	51
4.3.6. IV. GaAs.....	51
4.4. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.....	52
4.5. Εφαρμογές TFPV.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Θερμό - Φωτοβολταϊκά (PV/T).....	54
5.1. Εισαγωγή στα PV/T.....	54
5.2. Είδη PV/T.....	55
5.2.1. PV/T συστήματα αέρα.....	55
5.2.2. PV/T συστήματα υγρού.....	55
5.2.3. Είδη υβριδικών PV/T συλλεκτών υγρού.....	55
5.3. Παράμετροι απόδοσης.....	56

5.4. Εφαρμογές.....	57
5.5.Θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτού υμένα.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Μοντελοποίηση υβριδικού Θερμό-Φωτοβολταϊκού με πλαίσια λεπτού υμένα.....	58
6.1. Κριτήριο επιλογής προσέγγισης μοντέλου (PV/T thin film).....	58
6.2 Περιγραφή μοντέλου (PV/T thin film).....	60
6.2.1. Επιλογή χαρακτηριστικών συστήματος.....	61
6.2.1.1. Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου λεπτού υμένα.....	61
6.2.1.2 Επιλογή θερμικού συλλέκτη.....	63
6.2.1.3 Επιλογή Αντιστροφέα.....	63
6.2.2. Περιγραφή διαστασιολόγησης συστήματος.....	65
6.2.2.1. Διαστασιολόγηση με εξισώσεις.....	65
6.2.2.2. Διαστασιολόγηση με το λογισμικό PVSYS.....	66
6.3. Σχεδιασμός με την χρήση AutoCAD.....	79
6.4. Μαθηματική προσέγγιση PV/T TFPV- Ανάπτυξη εξισώσεων μοντελοποίησης του λογισμικού TRNSYS.....	80
6.5. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος με το λογισμικό TRNSYS.....	84
6.5.1. Εισαγωγή στο TRNSYS.....	84
6.5.2. Εξομοίωση – Αποτελέσματα.....	88
6.5.3. Απόδοση PV-T.....	89
6.5.4. Απαίτηση σε ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Εφαρμογή στον οικιακό τομέα.....	99
7.1. Τεχνική περιγραφή - Οικονομοτεχνική προσέγγιση Τεχνική.....	99
7.2 Περιβαλλοντική προσέγγιση.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Συμπεράσματα.....	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το παρόν σύγγραμμα είναι αφιερωμένο στους γονείς μου:
ΚΑΨΑΛΗ ΕΥΑΓΓΕΛΟ ΚΑΙ ΝΤΑΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ καθώς και στην αδελφή μου ΚΑΨΑΛΗ
ΑΝΤΩΝΙΑ για την αγάπη τους, την κατανόηση τους και την υποστήριξή τους.
Για την συγγραφή του παρόν συγγράμματος θα ήθελα να ευχαριστήσω:
Τον καθηγητή μου ΣΤΑΘΑΤΟ ΗΛΙΑ για την πολύτιμη βοήθειά του.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρική Ενέργεια
Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο
Σύστημα ψύξης-Θέρμανσης
Συμπαγωγή
Κυψέλες Καυσίμου
Θερμικοί Συλλέκτες
Ενεργειακή Απολαβή
Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία
Κρυσταλλική Δομή
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις
Οικοσύστημα
Υδραυλικό Δίκτυο
Οργανικός Ημιαγωγός
Γαλβανισμένο Σίδηρο
Μόνωση
Ενέργεια Συστήματος
Φυσική Κυκλοφορία
Θερμική Αγωγιμότητα
Συλλέκτης
Υβριδικό Σύστημα
Απορροφητικό Φάσμα του Υγρού
Στεγανοποίηση
Ρευστοποίηση
Θερμοσυσσωρευτής
Μετατροπέας
Πράσινη Ενέργεια
Ρυπογόνο
Φωτοβολταϊκή Κυψέλη
Ενεργειακό Χάσμα
Εξωτερική Στοιβάδα
Δυσμενείς Επιπτώσεις
Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας
Επαγωγικό Φορτίο
Πυκνωτής
Φυσικοί Πόροι
Ενεργειακή Πυκνότητα
Συστήματα Εφεδρείας
Κυκλοφορητές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή ενέργειας έχει άμεσες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι εξαντλούνται και ταυτόχρονα έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη φύση. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζονται ως η μόνη λύση για να διατηρηθεί μελλοντικά η ζωή στον πλανήτη.

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες που διανύουμε και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες πολιτικοοικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιιο από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος. Οπότε λογικό ήταν τα βλέμματα όλων να στραφούν στην παραγωγή ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η εργασία αναφέρεται στην εκτενή μελέτη των φωτοβολταϊκών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, στις τεχνολογίες, στις εφαρμογές που υπάρχουν για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αυτών των συστημάτων. Επίσης πραγματοποιείται την μοντελοποίηση υβριδικού θερμό-φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση την τεχνολογία λεπτού υμένα, και την εγκατάστασή του, σε οικία στην πόλη του Πειραιά.

Η μοντελοποίηση στηρίζεται στο λογισμικό TRNSYS, και η διαστασιολόγησή του φωτοβολταϊκού συστήματος στο λογισμικό PVSYST, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στον επαγγελματικό τομέα. Η προσέγγιση αυτή γίνεται ούτως ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά θερμό-φωτοβολταϊκού με εναλλακτικό τρόπο λόγω του ότι τα thin film, έχουν μειωμένη απόδοση έναντι, των κρυσταλλικού πυριτίου, για χώρο ίδιου εμβαδού, αλλά και μειωμένο κόστος.

Επίσης παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος συνδεσμολογίας (ολοκληρωτικά, σύνδεση εν παραλλήλω) και τα αποτελέσματα της λειτουργίας τους. Στις πραγματικές συνθήκες και λαμβάνοντας υπόψιν, την νομοθετημένη προσπάθεια ανάπτυξης των οικιακών, διασυνδεδεμένων, φωτοβολταϊκών συστημάτων, πιθανόν να αξίζει με βάση την σημερινή τεχνολογία να θυσιάσει κάποιος, άμεσο οικονομικό όφελος, το οποίο προκύπτει από το feed in tariff, το οποίο είναι αρκετά υψηλό στην Ελλάδα, ούτως ώστε να κερδίσει έμμεσο οικονομικό όφελος, παράγοντας και θερμική ενέργεια, αυξάνοντας εν τέλει την συνολική απόδοση του συστήματος, που απαντά στις ανάγκες μίας τετραμελούς οικογένειας.

Στο παρόν πόνημα γίνεται η προσπάθεια ούτως ώστε να ανταποκρίνεται το μοντέλο στις πραγματικές συνθήκες. Στην σημερινή κοινωνία, είναι επιτακτική η ανάγκη για ανεξαρτητοποίηση από τα πεπερασμένα-ορυκτά, συμβατικά καύσιμα που υποβαθμίζουν το περιβάλλον. Ελπίζω η παρούσα εργασία να αποτελέσει ένα χρήσιμο και αξιόλογο σύγγραμμα, το οποίο θα παραθέσει χρήσιμα συμπεράσματα σε ακαδημαϊκό και μη-αναγνωστικό κοινό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η παραγωγή ενέργειας έχει άμεσες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι εξαντλούνται και ταυτόχρονα έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη φύση. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζονται ως η μόνη λύση για να διατηρηθεί μελλοντικά η ζωή στον πλανήτη.

1.1. Ενέργεια



Εικόνα(1) Πηγή: www.igsolarpower.com

Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας

Ο πληθυσμός των ανθρώπων της γης έχει ξεπεράσει πια τα 6 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι χρειάζονται ενέργεια για να βελτιώσουν το επίπεδο της διαβίωσης τους. Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας.

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνουν ραγδαία την εγκατεστημένη ισχύ τους κάτι που είναι και αποτέλεσμα του αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου τους. Στην Δημοκρατία της Κίνας το 1997 κατασκευάζονταν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ρυθμό 300MW / εβδομάδα. (Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα είναι περίπου 12.500MW).

Θα επικεντρωθούμε στην ηλεκτρική ενέργεια μιας και αυτή είναι η πιο άμεσα συνδεδεμένη μορφή ενέργειας με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κιλοβατώρα (kilowatt-hour). Μία κιλοβατώρα θεωρητικά αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώθηκε από μια συσκευή ισχύος 1kilowatt (κιλοβάτ) που λειτούργησε για την διάρκεια της μιας ώρας (1hour).

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kilowatt-hour} = 1 \text{ κιλοβατώρα}$$

Υποδιαιρέσεις μονάδας ενεργού ισχύος

$$1 \text{ kW (kilowatt)} = 1000 \text{ W (watt)}$$

1 MW (megawatt) = 1000 kW (kilowatt)
1 TW (terawatt) = 1000 MW (megawatt)

Στην πραγματικότητα η κιλοβατώρα είναι η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ή παραγωγής ενεργού ισχύος. Στην πράξη οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην συνολική ενέργεια που «απορροφούν», «καταναλώνουν» ή «παράγουν» και ένα άλλο ποσοστό ενέργειας ανάλογα με τα ποιοτικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (χωρητικά, επαγωγικά φορτία).

Αυτή είναι η άεργος ισχύς (reactive power) ή οποία είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες (I^2R) ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ μάλιστα (σωστά) χρεώνει τους μεγάλους καταναλωτές όταν ξεπεράσουν κάποιο όριο «έγχυσης» ή «κατανάλωσης» (συντελεστής ισχύος, $\cos \phi \leq 0.85$) άεργου ισχύος στο δίκτυο. Βελτίωση του «συνημίτονου» μιας εγκατάστασης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με την προσθήκη φορτίων πυκνωτών ή με την προσθήκη καταναλώσεων επαγωγικών ρευμάτων (πηνίων) ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (επαγωγική συμπεριφορά ή χωρητική αντιστοίχως).

Η μονάδα της άεργου ισχύος είναι το Volt_Ampere_Reactive (VAR) Η συνολική ισχύς λέγεται και «φαινόμενη» και έχει μονάδα το Volt-Ampere (VA). Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος είναι $S=VI=(\text{τετραγωνική ρίζα του}(P^2+Q^2))$ Volt Ampere.

1.1.1. Το ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες που διανύουμε και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες πολιτικοοικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη.

Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος κατανάλωση ενέργειας γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη. Στον σύνδεσμο που ακολουθεί μπορείτε να δείτε τις χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2007.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται κυρίως από γαιάνθρακες, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια και μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μόνο 2%.

1.1.2. Ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα (fossil fuels) είναι ένας γενικός ορισμός που αποδίδεται σε καύσιμα που σχηματίζονται στην γη από υπολείμματα φυτικών ή ζωικών οργανισμών. Τα κυριότερα ορυκτά καύσιμα είναι υδρογονάνθρακες και είναι τα παρακάτω:

- Οι γαιάνθρακες

Υπάρχουν πολλές μορφές γαιανθράκων και κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Η περισσότερο γνωστή μορφή είναι ο λιγνίτης. Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή χαρακτηρίζονται από την χαμηλή απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στην καλύτερη περίπτωση το 35%.



Εικόνα(2) Πηγή: www.compasolar.gr/pvsystem.htm

- Το πετρέλαιο

Το πετρέλαιο λόγω της μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας, της εύκολης σχετικά μεταφοράς και των δεκάδων χρήσεων του είναι η πιο σημαντική ενεργειακή πηγή από την δεκαετία του 1950 και μετά. Σημαντικότερες χρήσεις του σαν υγρό καύσιμο στις μεταφορές και την θέρμανση.



Εικόνα (3) Πηγή: www.glasscon.com

- Το φυσικό αέριο



Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Είναι το καθαρότερο από τα ορυκτά καύσιμα όσον αφορά την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου.

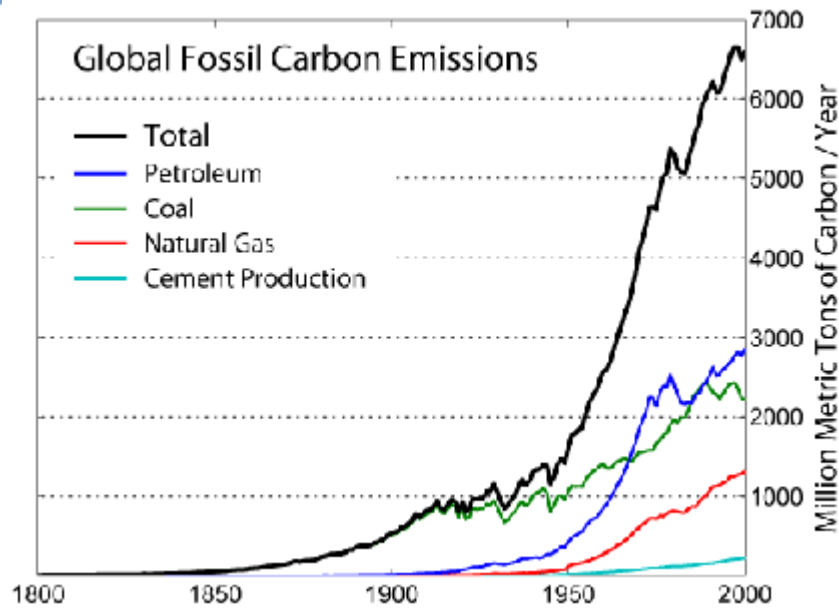
Εικόνα(4) Πηγή: www.iqsolarpower.com

Οι μεγαλύτερες υπόγειες δεξαμενές φυσικού αερίου βρίσκονται στο Ιράν και την Ρωσία. Επιστήμονες εκτιμούν ότι τα αποθέματα του φυσικού αερίου θα εξαντληθούν το 2085.

Όλες οι παγκόσμιες οικονομίες εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα ενεργειακά από τα ορυκτά καύσιμα.

Εκτός από το μειονέκτημα της πεπερασμένης πρώτης ύλης τα ορυκτά καύσιμα ευθύνονται κατά πολύ για την ρύπανση του πλανήτη και για διάφορα περιβαλλοντολογικά προβλήματα.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος για τα τελευταία 200 χρόνια και οι αντίστοιχες εκπομπές των ορυκτών καυσίμων.

Γράφημα(1) Πηγή: www.glasscon.com

1.1.3. Πυρηνική ενέργεια



Άλλη πολύ σημαντική πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική. Παρόλα αυτά και η πυρηνική ενέργεια σχετίζεται με ορυκτό καύσιμο μιας και το ουράνιο που χρησιμοποιείται είναι ορυκτό και μάλιστα δυσεύρετο. Η πυρηνική ενέργεια είναι μια ιδιαίτερα αμφιλεγόμενη μορφή ενέργειας γιατί παρά το αρκετά χαμηλό κόστος παραγωγής, σε περίπτωση ατυχήματος τα αποτελέσματα θα είναι δραματικά.

Ένα ακόμα πρόβλημα είναι ότι τα απόβλητα μιας τέτοιας παραγωγικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις για την επ' αόριστων αποθήκευση των αποβλήτων. Τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια έχει η Γαλλία με 59 αντιδραστήρες και ποσοστό ενεργειακής κάλυψης 78%.

1.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια



Σε ποσοστό 16% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως παράγεται από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει μεγάλες ανάγκες ειδικά σε χώρες όπου υπάρχουν μεγάλα ποτάμια.

Εικόνα(6) Πηγή: www.glasscon.com

Έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν περισσότερα χρόνια από ότι ένας αντιδραστήρας καυσίμου ενώ υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις στον κόσμο που λειτουργούν τα τελευταία 50 με 100 χρόνια.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παρουσιάζουν πολλά περιβαλλοντολογικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας αφού δεν υπάρχει εκπομπή καυσαερίων αλλά

συνήθως δημιουργούν ανακατατάξεις στα οικοσυστήματα που εγκαθίστανται λόγω της μεγάλης ανθρώπινης παρέμβασης στην φύση.

Υπάρχουν αρκετές χώρες που έχουν μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από τις υδροηλεκτρικές τους εγκαταστάσεις όπως ο Καναδάς και η Βραζιλία.

1.1.5. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τέλος, υπάρχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διαθέτουν ένα ισχυρό πλεονέκτημα. Θα διαρκέσουν όσο θα υπάρχει και ο πλανήτης σε μορφή που να μπορούσε να ζει άνθρωπος.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επίσης εκπέμπουν περιορισμένα ή καθόλου αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα που δίνουν οι ανανεώσιμες πηγές για την δημιουργία καταναμημένων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις περισσότερες ΑΠΕ δεν υπάρχει κόστος πρώτης ύλης ενώ και το κόστος συντήρησης είναι περιορισμένο.

Οι ενεργειακές ανάγκες εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα ορυκτά καύσιμα και θα συνεχίσουν να εξαρτώνται από αυτά για αρκετές δεκαετίες ακόμα. Η ανάγκη όμως της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει γίνει αντιληπτή σε όλο τον κόσμο και οι περισσότερες χώρες έχουν υπογράψει αντίστοιχες δεσμεύσεις για χρήση των ΑΠΕ.

Σε κάποιες χώρες ήδη υπάρχουν ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα από την χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ. Αυτές οι χώρες λειτούργησαν λίγο διαφορετικά και σαφώς πιο καινοτόμα και οδηγήθηκαν σε ερευνητικά προγράμματα εκμετάλλευσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας αρχικά και στην συνέχεια σε εντατικοποιημένη βιομηχανική παραγωγή μηχανισμών παραγωγής ανανεώσιμης, ηλεκτρικής κυρίως, ενέργειας.

Για παράδειγμα η Γερμανία και η Ιαπωνία πρωτοπορούν στην εκμετάλλευση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενέργειας είτε με τις εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε με την υψηλή τεχνογνωσία τους στον κλάδο των εξαρτημάτων και μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι περισσότερο γνωστές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι:

- Η μετατροπή της **αιολικής ενέργειας** σε ηλεκτρισμό, της οποίας η εγκατεστημένη ισχύ ανεβαίνει με εκθετική πρόοδο. Οι χώρες με την μεγαλύτερη χρήση αιολικής ενέργειας είναι η Γερμανία, ή Ισπανία και οι ΗΠΑ





Γράφημα(2) Πηγή: <http://www.iea.org>

- Η **ηλιακή ενέργεια** της οποίας η χρήση διακρίνεται σε πολλές υποκατηγορίες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Τα **φωτοβολταϊκά συστήματα** (photovoltaic) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι μια τεχνολογία ημιαγωγών με τεράστια πλεονεκτήματα αλλά μεγάλο κόστος.



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναπτύσσεται με ραγδαίο ρυθμό τα τελευταία χρόνια και η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε ΦΒ έχει ξεπεράσει και το πιο αισιόδοξο σενάριο.

- Συστήματα συλλεκτών ηλιακής θέρμανσης ζεστού νερού (**solar water heating**)

Στα συστήματα αυτά η Ελλάδα παρουσιάζει μια αρκετά μεγάλη αγορά. Για το έτος 2005 βρεθήκαμε στην 5η θέση μεταξύ των χωρών με τις περισσότερες εγκαταστάσεις συλλεκτών στον κόσμο με πρώτη την Κίνα.



- Στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα (solar concentrators) παραγωγής ενέργειας, τα οποία με την σειρά τους διακρίνονται σε αρκετές υποκατηγορίες και εκμεταλλεύονται την ανάκλαση του φωτός σε συνδυασμό με διάφορες τεχνικές.



- Οι μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας.

Είναι από τις παλαιότερες μορφές ενέργειας (νερόμυλοι, υδραυλικοί τροχοί κλπ) και έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με το δίκτυο. Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν περιλαμβάνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω της ογκώδους παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον.

- Τα βιοκαύσιμα .

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/EK βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα όπου βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

Τα βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται από μικρότερες εκπομπές ρύπων CO₂ σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Στα βιοκαύσιμα συγκαταλέγονται:

- Η βιοαιθανόλη
- Το βιοντίζελ
- Το βιοαέριο
- Η βιομεθανόλη
- Ο βιοδιμεθυλαιθέρας
- Τα συνθετικά βιοκαύσιμα
- Το βιοϋδρογόνο
- Τα καθαρά φυτικά έλαια

Στο σύνολο τους οι ΑΠΕ υπόσχονται να δώσουν σπουδαίες εναλλακτικές τεχνικές στο ενεργειακό πρόβλημα αλλά και να δώσουν λύσεις στα τεράστια περιβαλλοντολογικά προβλήματα του πλανήτη.

1.2. Περιβάλλον



Εικόνα(7) Πηγή: <http://www.iea.org>.

Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα έχει γίνει εδώ και αρκετά χρόνια αντιληπτό από την ανθρωπότητα. Ιστορικά η απαρχή της ολοκληρωτικής παρέμβασης του ανθρώπου έγινε πριν από δύο περίπου αιώνες κατά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Από εκείνο το σημείο και έπειτα ο άνθρωπος καταναλώνει ακατάπαυτα φυσικούς πόρους (ορυκτούς κυρίως) και μάλιστα με τρόπο τελείως ανεξέλεγκτο και μάλλον ανταγωνιστικό.

Το αποτέλεσμα αυτής της «εξέλιξης» συσσωρευτικά δημιούργησε στο περιβάλλον τα ακόλουθα προβλήματα:

- Παγκόσμια (υπερ)θέρμανση (global (over)warming)

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και των ωκεανών. Σύμφωνα με την αρμόδια επιτροπή του ΟΗΕ ή μέση θερμοκρασία του πλανήτη τον τελευταίο αιώνα έχει αυξηθεί κατά 0,6 βαθμούς C ($\pm 0,2$). Οι προβλέψεις της ίδιας επιτροπής για το τέλος του αιώνα που διανύουμε είναι πολύ χειρότερες μιας και πιθανολογείται επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας έως και 5,8 βαθμούς C.



Γράφημα(3) Πηγή: <http://www.iea.org>

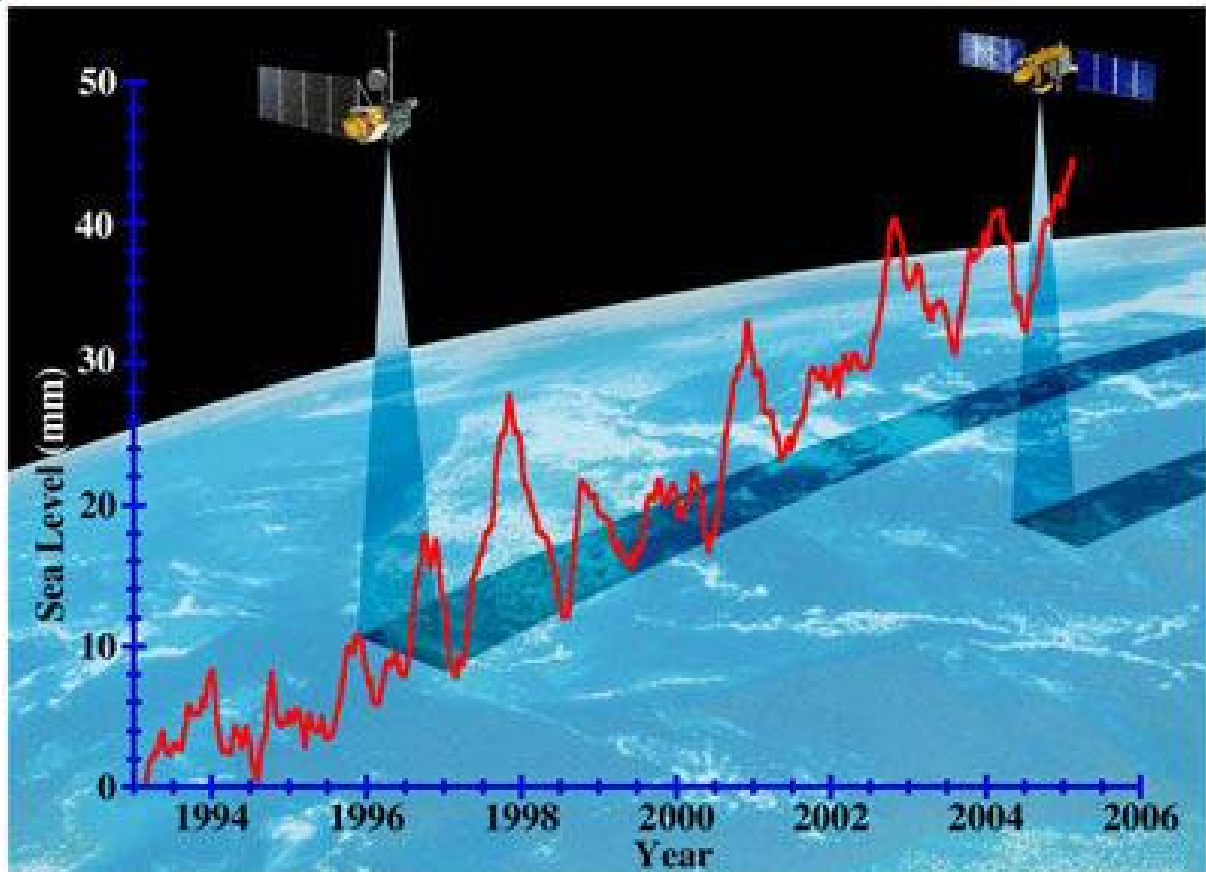
Το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης έχει άμεσα πλέον συνδεθεί με την παραγωγή των αερίων θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Τα αποτελέσματα αυτής της αύξησης έχουν γίνει πλέον αισθητά. (στην Δράμα έχουμε να δούμε αξιοπρεπή χιονάνθρωπο μια δεκαετία). Στους πόλους της γης ήδη παρατηρείται λιώσιμο τεράστιων παγόβουνων με γρήγορο ρυθμό. Το επίπεδο της θάλασσας συνεπακόλουθα αναμένεται να ανεβεί και να επιφέρει ανάλογες καταστροφές.



Ήδη με την χρήση δορυφόρων (1992) έχει διαπιστωθεί ότι η μέση αύξηση του επιπέδου της θάλασσας είναι 2,8 χιλιοστά/έτος άλλα διατηρούνται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία (διακριτική ικανότητα) των μετρήσεων.

Άλλα αρνητικά φαινόμενα που οφείλονται στην παγκόσμια υπερθέρμανση είναι αλλαγές στους ρυθμούς βροχοπτώσεων, αυξημένη ένταση και συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων. Μελλοντικά αναμένονται σε κάποιες περιοχές, παρατεταμένη ξηρασία, και θέματα υγιεινής λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Γράφημα 4 Πηγή: <http://www.eia.doe.gov>

- Αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gases)

Όπως προαναφέρθηκε τα αέρια του θερμοκηπίου είναι κυρίως υπεύθυνα για την παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα αέρια αυτά απορροφούν (εγκλωβίζουν) ουσιαστικά ακτινοβολία την οποία κατά ένα ποσοστό την εκπέμπουν προς την γη, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνειά τους.

Τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το οξείδιο του νατρίου (NO_2) και το όζον (O_3).

Η ανθρώπινη δραστηριότητα ευθύνεται για την αύξηση των CO_2 , CH_4 , NO_2 τα οποία αποβάλλονται με ραγδαίο ρυθμό στην ατμόσφαιρα λόγω της εξάρτησης της παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα.

- Όξινη βροχή

Η καύση ορυκτών καυσίμων παράγει θειικά, ανθρακικά και νιτρικά οξέα. Τα αέρια που εκπέμπονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων συγκρατούνται από σταγονίδια στα σύννεφα τα οποία επανέρχονται στην επιφάνεια της γης με την μορφή κυρίως της όξινης βροχής (επίσης και με το χιόνι, τους υδρατμούς αλλά και στερεά σωματίδια).

Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται η οξύτητα του φλοιού της γης καθώς επίσης να επηρεάζετε η χημική ισορροπία των ποταμών και των λιμνών.

Στον παρακάτω πίνακα υπάρχει μια γενική αξιολόγηση με κριτήριο τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που προκύπτουν από διάφορες παραγωγικές δραστηριότητες.

Συγκριτικός πίνακας περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων διαφόρων πηγών ενέργειας.

Επίπτωση Ανύπαρκτη = Ασήμαντη/Σημαντική =1 Σημαντική =2 Σημαντική/Μεγάλη =3 Μεγάλη =4	SO ₂ και NO ₂	CO ₂	CH ₄	ΥΠΕΙΝΗ	Αερούμενα σωματίδια	Βαριά μέταλλα	Κατατροφές	Απόβλητα	Αιοθιμικό πρόβλημα	Ηχορύπανση	Απειρίες σε γη
Ποθητικά ηλιακά									1		
Φωτοβολταϊκά					1	1		1	1		1
Αιολική									3	1	1
Βιομάζα	1		3	1	1	1		1	1	1	3
Γεωθερμία	1	1	1	1		1		2	1	1	
Υδροηλεκτρικά							2		3		3
Παλιρροιακή							1		3		1
Θαλάσσιων Κυμάτων							1		1		
Άνθρακας	4	4	2	1	2	2	1	2	2	1	3
Πετρέλαιο	3	4	1	1	2	1	2	1	1		1
Φυσικό Αέριο	1	4	3	1			2		1		1
Πυρηνική ενέργεια	1	1		1				2	3	2	1

[Bauman, A. and Hill, R., Proc. 10th EC Photovoltaics Solar Energy Conference, Kluwer, Dordrecht, 1991, 834-837]

Πίνακας(1) Πηγή: <http://www.iea.org>

Έχει γίνει αντιληπτό ότι ο μόνος τρόπος για να αντιμετωπιστεί στο σημείο που έχουμε φτάσει είναι μέσω διαρθρωτικών κοινωνικοπολιτικών αλλαγών. Η χρησιμοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι σίγουρα ένα σημαντικό βήμα για την μείωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων που μαστίζουν την ανθρωπότητα η τουλάχιστον για την επιβράδυνση του ρυθμού αύξησης των.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ.

Η κύρια και πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη Γη είναι ο Ήλιος. Η ακτινοβολία του Ήλιου έχει τροφοδοτήσει και εξακολουθεί να τροφοδοτεί με ενέργεια όλες σχεδόν τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Είναι γνωστό ότι η ηλιακή ακτινοβολία, όχι μόνο δίνει φως αλλά επίσης, θερμαίνει τα σώματα στα οποία προσπίπτει. Λιγότερο γνωστό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει και τις ιδιότητες κάποιων υλικών (των ημιαγωγών) που παράγουν έτσι ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς μέσω των: θερμικών ηλιακών, παθητικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάρoi, κ.α.). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά στη χώρα μας υπάρχει ένας μικρός αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp.

Οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε μικρά αυτόνομα συστήματα για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών. Ένας σημαντικός αριθμός Φ/Β συστημάτων (περίπου 900) μικρής ονομαστικής ισχύος έχει εγκατασταθεί από την υπηρεσία Φάρων του Πολεμικού Ναυτικού για την απρόσκοπτη λειτουργία των φάρων σε όλη την ελληνική επικράτεια.

2.1. Φ/Β Συστήματα

Έχει γίνει φανερό ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, ικανή να δώσει λύσεις στα δυο μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Αυτά είναι η αναζήτηση ενεργειακών πηγών για τις ανάγκες του πλανήτη και το περιβαλλοντολογικό ζήτημα που έχει προκύψει από την κατάχρηση των φυσικών πόρων από τον άνθρωπο.

2.1.1. Ιστορική Αναδρομή

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε όμως ως εδώ;

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός **Edmond Becquerel** (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι **Adams** (1836 - 1915) και ο φοιτητής του **Day** παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός **Czochralski** (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι **Mott** και **Schottky** ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί



ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin, Fuller και Pearson**. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

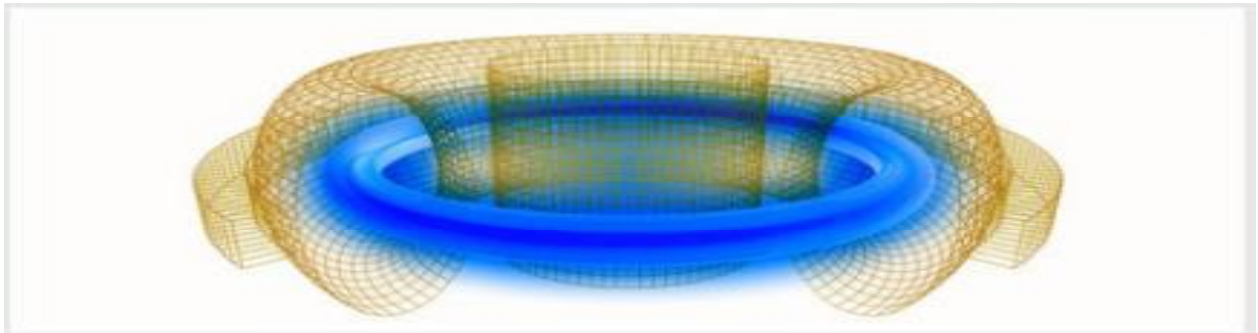
Τέσσερα χρόνια μετά το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο **Vanguard I**. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια.

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας 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.

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

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διεξόδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθειά τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού είναι πολύ μεγάλος για αυτό μάλιστα και η τάση που φαίνεται ότι θα κυριαρχήσει μετά από κάποια χρόνια είναι αυτή των τεχνολογιών λεπτού υποστρώματος (thin film) με σκοπό την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου.



Εικόνα(8) Πηγή: <http://www.eia.doe.gov>

2.1.2. Αρχές Λειτουργίας

Κατηγορίες υλικών

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η εκμετάλλευση του στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) 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.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) 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 στην 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.

Ημιαγωγοί

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 η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

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.

Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

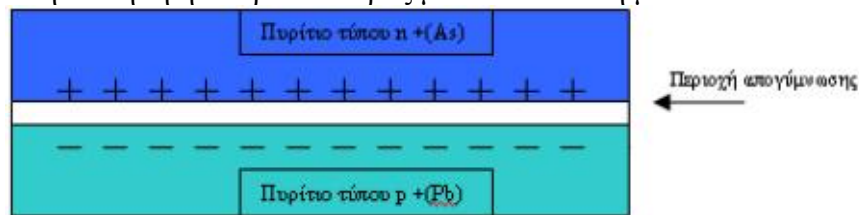
Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμιξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμιξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου 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 πρόσμιξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As).

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

Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

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



Σχήμα(1) Πηγή: <http://www.eia.doe.gov>

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

Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

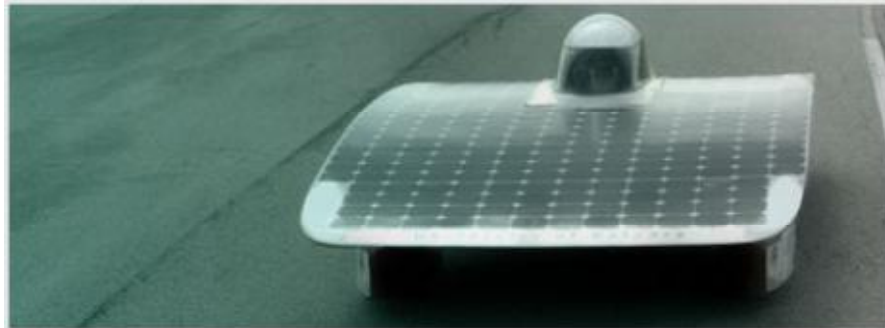
Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φβ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή **τύπου n** και χτυπούν τα άτομα της περιοχής **τύπου p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής **τύπου p** αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά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

Περιορισμοί στην Φ/Β απόδοση

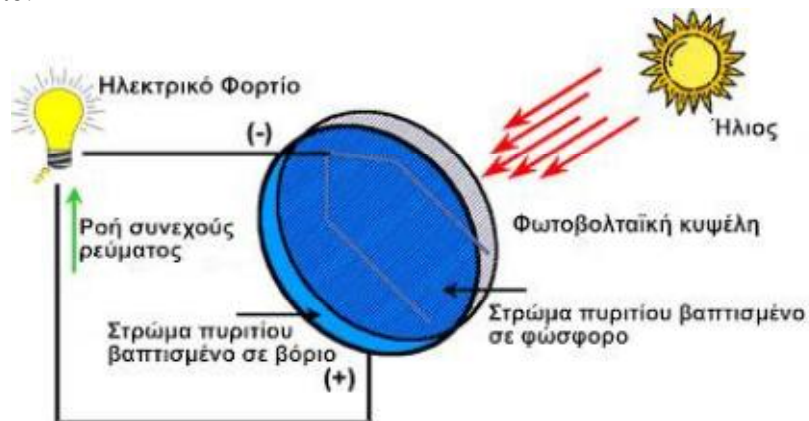
Γιατί όμως δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια; Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα. Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό.

Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

Εικόνα(9) Πηγή: <http://www.itesk.gr>

2.1.3. Πως Λειτουργούν ;

Μια τυπική φωτοβολταϊκή κυψέλη πυριτίου αποτελείται από ένα λεπτότατο στρώμα πυριτίου βαπτισμένο σε φώσφορο (τύπος N) πάνω σε ένα πιο παχύ στρώμα πυριτίου, βαπτισμένο σε βόριο (τύπος P). Κοντά στην κορυφή της κυψέλης όπου αυτά τα δύο υλικά εφάπτονται, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στην επιφάνεια της κυψέλης, αυτό το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει ορμή και κατεύθυνση σε ηλεκτρόνια που διεγείρονται από το φως, με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος όταν η κυψέλη είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό φορτίο.

Σχήμα (2). Φωτοβολταϊκή κυψέλη. Πηγή: <http://www.itesk.gr>

Ασχέτως μεγέθους, μια τυπική φωτοβολταϊκή κυψέλη παράγει περίπου 0,5-0,6 βολτ συνεχούς ρεύματος σε συνθήκες μηδενικού φορτίου και ανοικτού κυκλώματος. Η ποσότητα ρεύματος που παράγει η κυψέλη εξαρτάται από την αποτελεσματικότητάς της και το μέγεθός της και είναι ανάλογη με την ένταση του ηλιακού φωτός που τη χτυπάει.

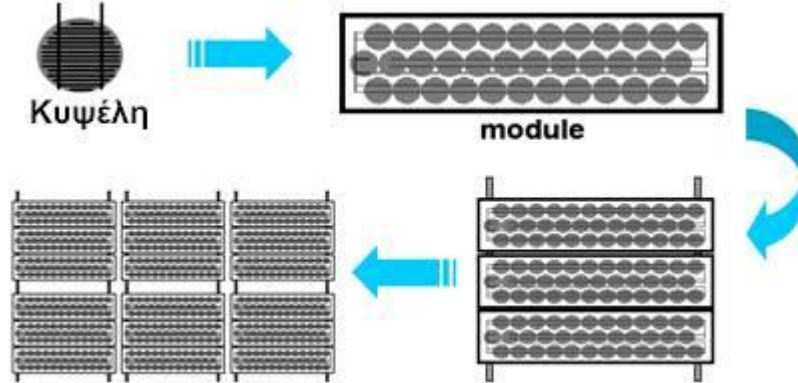
Για παράδειγμα, κάτω από έντονο ηλιακό φως, μια τυπική PV κυψέλη με επιφάνεια 160 τετρ. εκατοστά παράγει περίπου 2 Watt μέγιστη ισχύ

2.1.4. Φωτοβολταϊκές Μονάδες και Συστοιχίες

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα σε κυκλώματα για την παραγωγή μεγαλύτερης τάσης και ισχύος. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες αποτελούνται από

κυψέλες σφραγισμένες σε προστατευτικό έλασμα (module) και είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα των συστημάτων PV.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιέχουν μία ή περισσότερες μονάδες καλωδιωμένες και έτοιμες για εγκατάσταση. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι μία πλήρης μονάδα παραγωγής ρεύματος που μπορεί να περιέχει οποιονδήποτε αριθμό από πάνελ.



Σχήμα(3). Φωτοβολταϊκές κυψέλες, modules, panels και συστοιχίες.

Πηγή: <http://www.itesk.gr>

Η ισχύς των φωτοβολταϊκών συστοιχιών εκτιμάται κάτω από κανονικές συνθήκες. Σαν κανονικές συνθήκες ορίζουμε τη λειτουργία μίας κυψέλης σε θερμοκρασία 25 βαθμών Κελσίου και σε συγκεκριμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και πυκνότητας αέρα.

Επειδή αυτές οι συνθήκες δεν αντιπροσωπεύουν το σύνηθες περιβάλλον λειτουργίας μίας κυψέλης, η πραγματική απόδοση είναι συνήθως 85 ως 90 % της ονομαστικής. Τα σημερινά φωτοβολταϊκά είναι εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα, με πολύ χαμηλά ποσοστά βλαβών και μέσο όρο ζωής τα 20 με 30 χρόνια. Οι περισσότεροι μεγάλοι κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση 20 ή περισσότερα χρόνια, στα οποία οι κυψέλες θα διατηρήσουν ένα υψηλό ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος

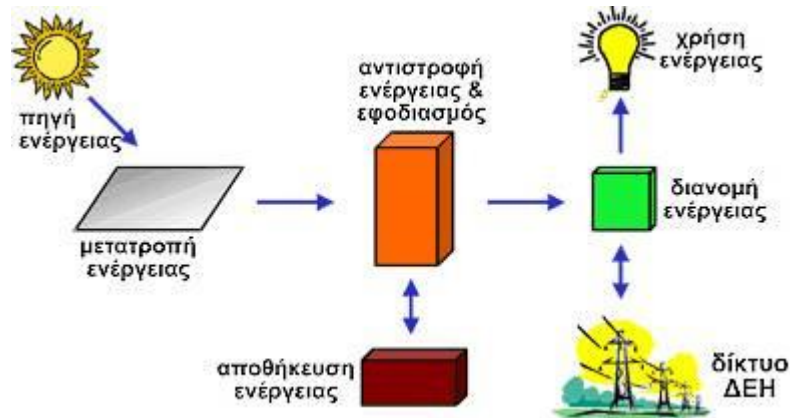
2.1.5. Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα;

Με απλά λόγια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι παρόμοια με οποιαδήποτε άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας, απλά ο εξοπλισμός διαφέρει. Ωστόσο, οι αρχές λειτουργίας και διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν οι ίδιες.

Παρόλο που μια μονάδα PV παράγει ρεύμα όταν εκτίθεται σε ηλιακό φως, μια σειρά από άλλα στοιχεία είναι απαραίτητα ώστε να γίνουν σωστά ο έλεγχος, η μετατροπή, η διανομή και η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα. Αναλόγως με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα απαραίτητα συστατικά του μπορεί να περιέχουν μετατροπείς DC-AC (συνεχούς/εναλλασσόμενου), συστοιχία μπαταριών, ρυθμιστές συστήματος και μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας κ.ο.κ.

Επιπλέον μπορεί να είναι απαραίτητες μονάδες για την ασφάλεια του συστήματος όπως ειδική καλωδίωση, προστασία από υπερβολική τάση και άλλος εξοπλισμός επεξεργασίας ρεύματος.

Το σχήμα 4 δείχνει ένα βασικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και τη σχέση των ξεχωριστών μονάδων.



Σχήμα(4). Τα κυριότερα μέρη ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος.

Πηγή: www.photovoltaiic.gr

Γιατί σε ορισμένα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μπαταρίες;

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτοβολταϊκά συστήματα με σκοπό την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται την ημέρα, ώστε να παρέχουν ενέργεια στα ηλεκτρικά φορτία κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε περιόδους συννεφιάς.

Άλλοι λόγοι περιλαμβάνουν τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην μέγιστή της ισχύ, την παροχή σταθερών τάσεων στα ηλεκτρικά φορτία και την παροχή σταθερών ρευμάτων στους μετατροπείς. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής φόρτισης σε τέτοια συστήματα ώστε να προστατεύεται η μπαταρία από υπερφόρτιση και πλήρη εκφόρτιση (Σχήμα 4).

2.1.6. Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

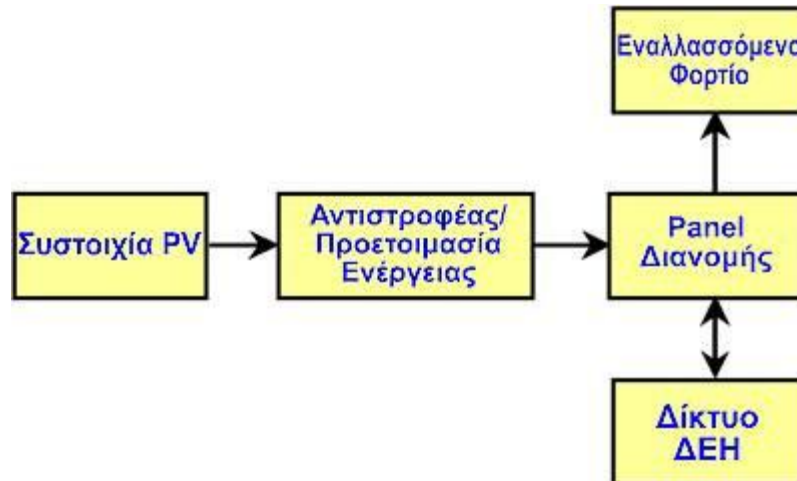
Πώς κατηγοριοποιούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα;

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις τους, τη διαμόρφωση των συστατικών τους μονάδων και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται σε άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία.

Οι δύο βασικές κατηγορίες είναι τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ρεύματος της ΔΕΗ και τα ανεξάρτητα συστήματα. Τα συστήματα PV μπορούν να παρέχουν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, να λειτουργούν διασυνδεδεμένα ή ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και να συνδέονται με άλλες ενεργειακές πηγές και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν παράλληλα και διασυνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός τέτοιου συστήματος είναι ο μετατροπέας. Η μονάδα αυτή μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από το σύστημα σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με προδιαγραφές ίδιες με αυτές του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με το δίκτυο με ένα ειδικό τρόπο, και παρέχει ενέργεια για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών φορτίων, μειώνοντας ή μηδενίζοντας έτσι την ενέργεια που χρειάζεται να αντλούμε από το δίκτυο της ΔΕΗ. Τη νύχτα και σε περιόδους που τα ηλεκτρικά φορτία είναι μεγαλύτερα από την ισχύ που παράγει το σύστημα, αντλείται ισχύς από το δίκτυο της ΔΕΗ.



Σχήμα(5). Διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ.

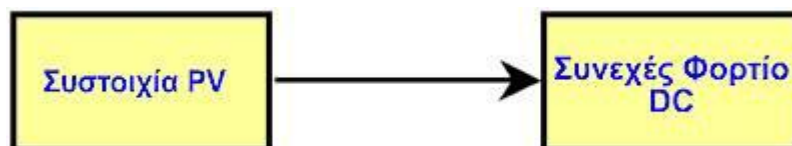
Πηγή: www.photovoltaic.gr

2.1.7. Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και είναι γενικά κατασκευασμένα ώστε να τροφοδοτούν φορτία συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι τύποι συστημάτων μπορεί να τροφοδοτούνται μόνο από μια συστοιχία φωτοβολταϊκών ή μπορεί να χρησιμοποιούν τον άνεμο ή ηλεκτρογεννήτριες σαν βοηθητική πηγή ενέργειας, οπότε και ονομάζονται Υβριδικά Φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ο πιο απλός τύπος ανεξάρτητου συστήματος είναι τα συστήματα άμεσης ζεύξης, όπου το συνεχές ρεύμα της εξόδου του φωτοβολταϊκού οδηγείται απευθείας σε ένα φορτίο συνεχούς ρεύματος (σχήμα 6). Επειδή δεν υπάρχει αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα αυτά, το φορτίο λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, κάνοντας το σύστημα αυτό ιδανικό για εφαρμογές όπως ανεμιστήρες εξαερισμού, αντλίες νερού, και μικρούς κυκλοφορητές για ηλιακούς θερμοσίφωνες.

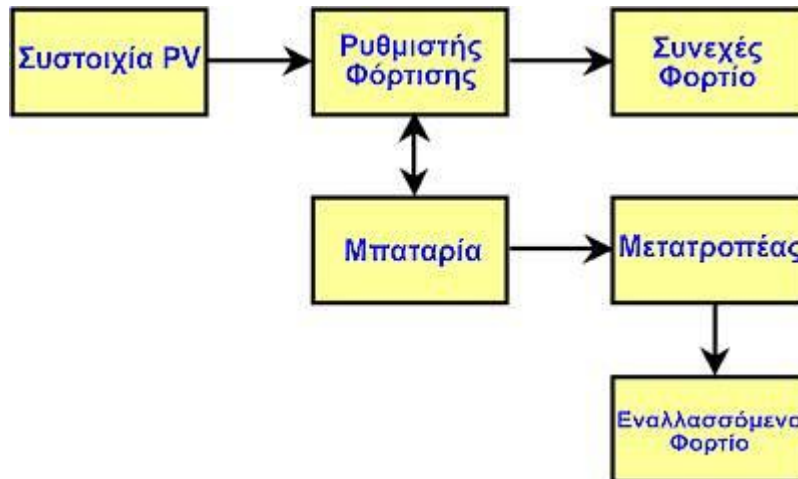
Το ακριβές ταίριασμα της ωμικής αντίστασης του ηλεκτρικού φορτίου με την μέγιστη ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ένα κρίσιμο βήμα στο σχεδιασμό συστημάτων άμεσης ζεύξης με ικανοποιητική απόδοση.



Σχήμα (6). Διάγραμμα συνεχούς ζεύξης.

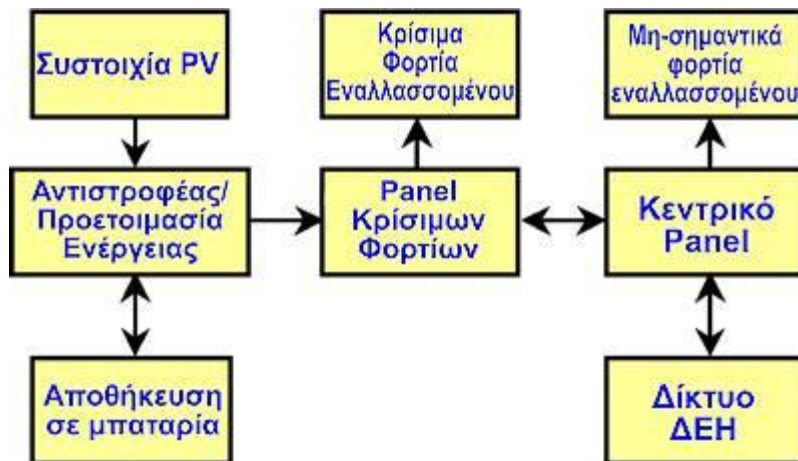
Πηγή: www.photovoltaic.gr

Σε πολλά ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας. Το σχήμα 7 δείχνει ένα διάγραμμα ενός τυπικού ανεξάρτητου συστήματος με μπαταρίες, το οποίο τροφοδοτεί φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Το σχήμα 7 δείχνει πως μπορεί να σχεδιαστεί ένα τυπικό υβριδικό σύστημα.



Σχήμα (7). Ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρία η οποία τροφοδοτεί καταναλωτές συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος.

Πηγή: www.photovoltaic.gr



Σχήμα (8). Διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ με δυνατότητα τροφοδοσίας κρίσιμων μονάδων.

Πηγή: www.photovoltaic.gr

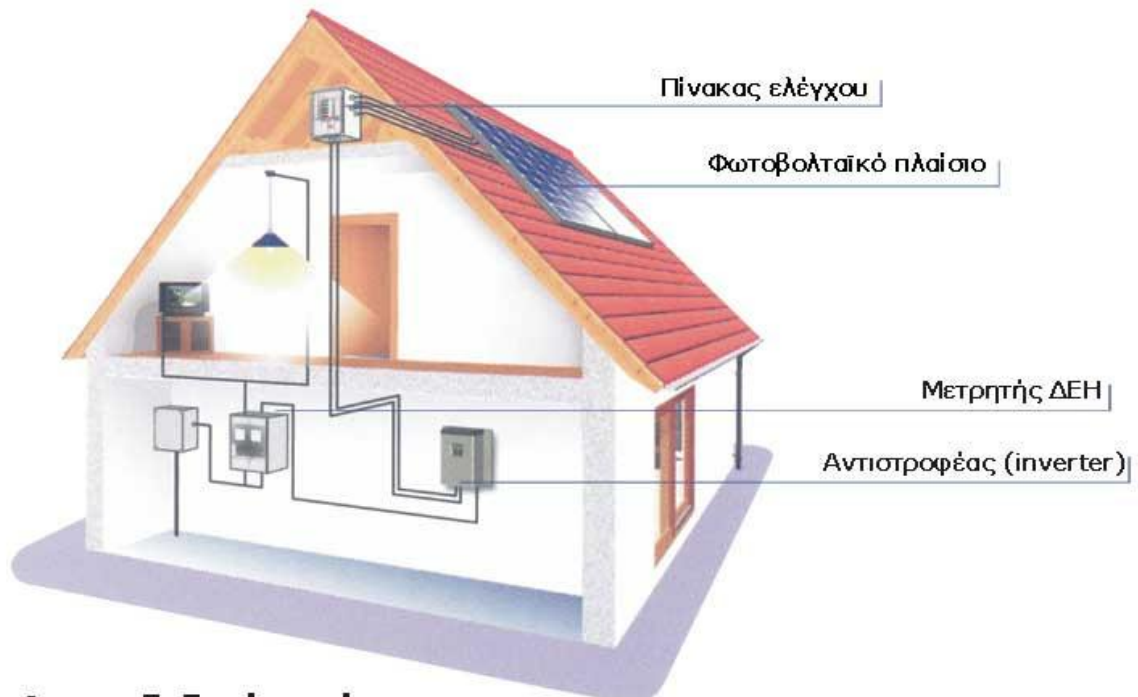
Το σχήμα 8 δείχνει πώς ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σαν διασυνδεδεμένο στο δίκτυο και επίσης να τροφοδοτεί κρίσιμα φορτία/καταναλωτές όταν το δίκτυο απενεργοποιηθεί.

Διανσυνδεδεμένα φ/β συστήματα

Με την εφαρμογή των νέων μέτρων επιχορήγησης της παραγόμενης kWh από φ/β η απάντηση είναι ότι συμφέρει για φ/β συστήματα οικιακής χρήσης λίγων kWp ως και για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις αρκετών MWp! Μετά από 6-7 έτη η επένδυση αποσβένεται και συσσωρεύει κέρδη από την πώληση της kWh στο δίκτυο της ΔΕΗ (20 χρόνια εγγυημένη τιμή πώλησης 0,4-0,5 E/kWh αντί των 0,07 E της τιμής αγοράς)

Εικόνα(10) Πηγή: www.photovoltaiic.gr

Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (**διασυνδεδεμένο σύστημα**). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.



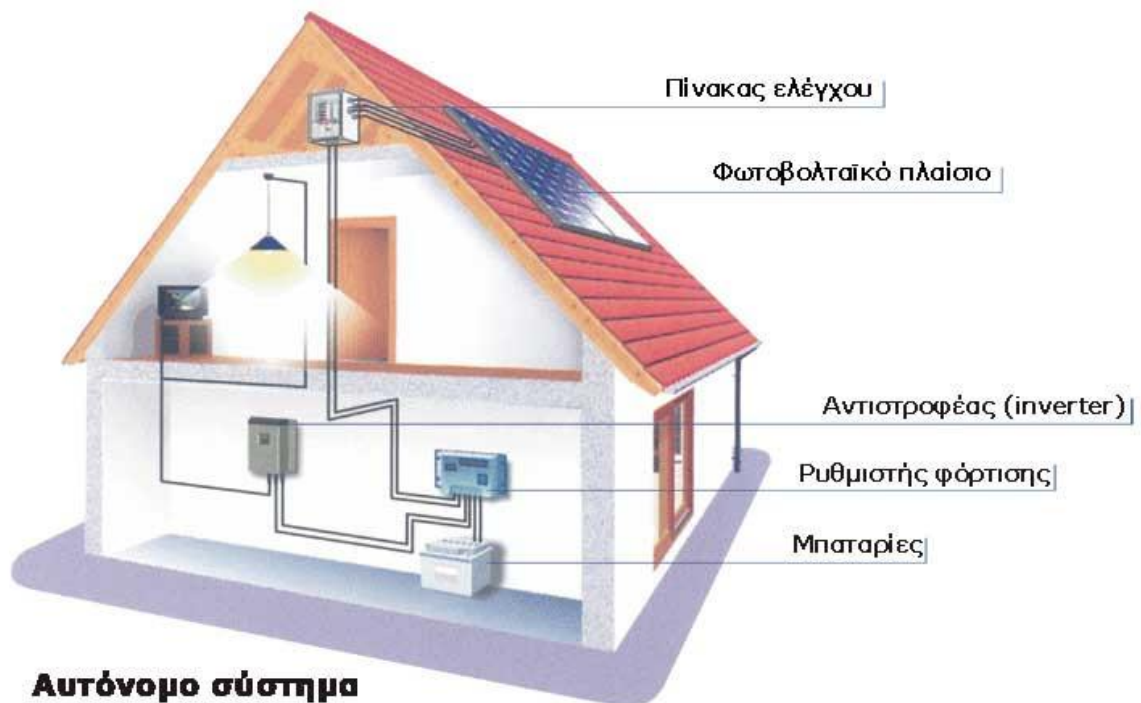
Διασυνδεδεμένο σύστημα
(ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο της ΔΕΗ)

Εικόνα(11).Πηγή: www.prosolar.gr

Αυτόνομα συστήματα

Εικόνα(12) Πηγή: www.prosolar.gr

Εναλλακτικά, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα **αυτόνομο σύστημα** που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

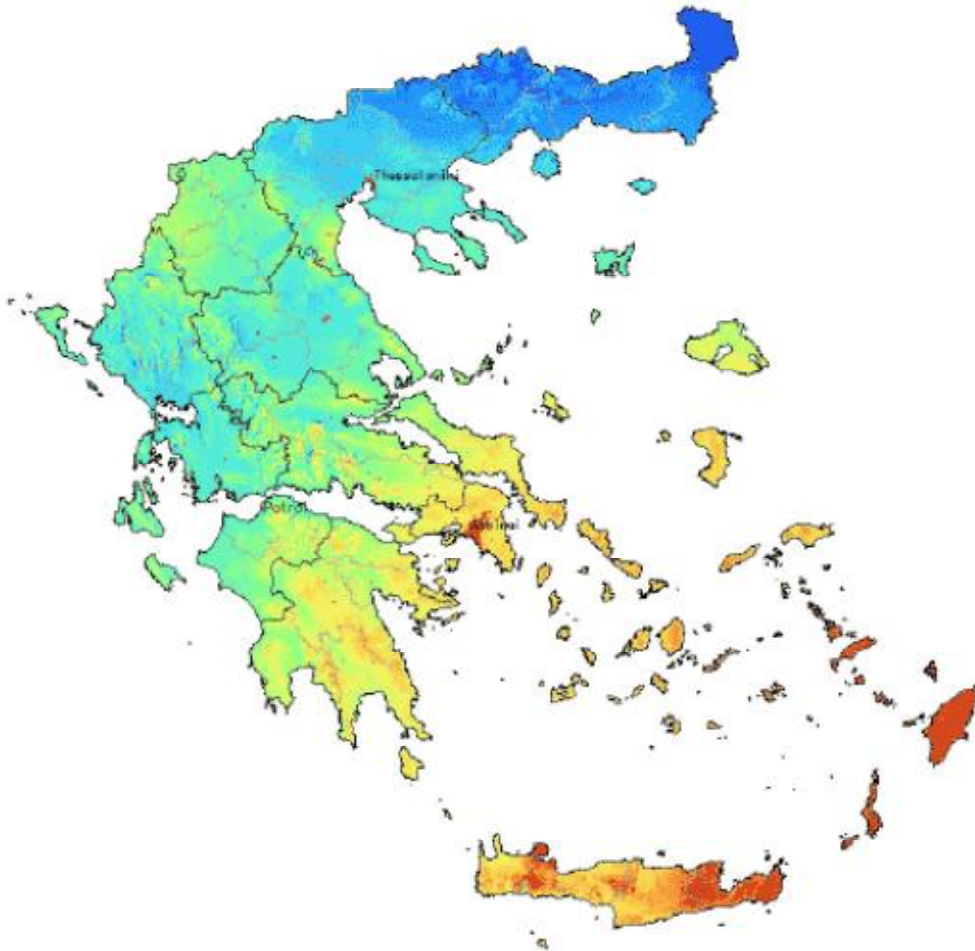
Εικόνα(13).Πηγή: www.prosolar.gr

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για **παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής - UPS)**. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, **ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.300 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW)**.

Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα

φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250-1.450 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 KWh/έτος/KW.



Χαμηλότερη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού  Υψηλότερη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού

Εικόνα(14).Πηγή: www.prosolar.gr

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο

προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβάτώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου).

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους.

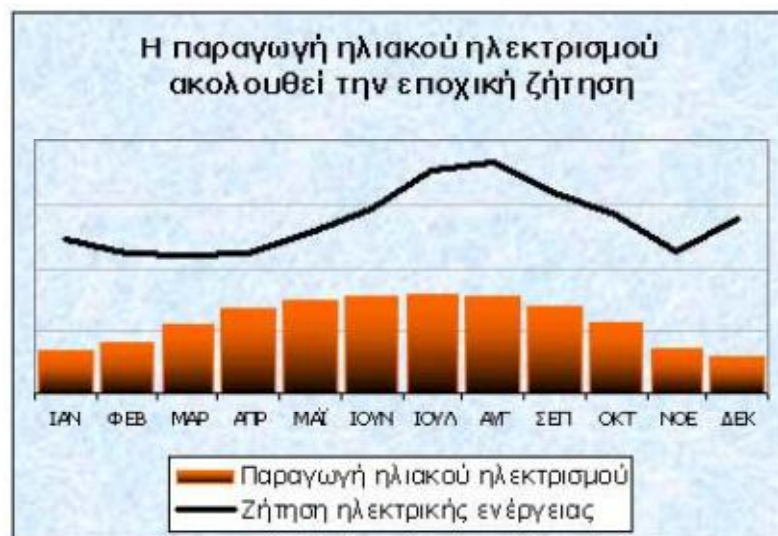
Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λ.π). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο).

Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ.



Γραφήματα(4)και(5).Πηγή: www.prosolar.gr

2.1.8. Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).

- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από

Τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Εξοικείωση με την ορολογία

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε τη σύντμηση Φ/Β για τη λέξη "φωτοβολταϊκό" (photovoltaic - PV).

Φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (PV cell).

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας (PV module).

Φωτοβολταϊκό πάνελ. Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (PV panel).

Φωτοβολταϊκή συστοιγία. Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PV array).

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (PV generator).

Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών;

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε.

Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως σημαντικά φθηνότερα. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών σας, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής σας ευχέρειας.

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς.

Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμων) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται.

Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας.

Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5- 10%.

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο).

Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους.

Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές.

Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών.

Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποιά ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας;

Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις "έξυπνες" επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας.

Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορετικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού.

Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν το image των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυγμένες αγορές (όπως η ιαπωνική και η γερμανική) τα φωτοβολταϊκά είναι πλέον "trendy" και "must" για κάθε νέα κτιριακή εφαρμογή.

Και τα μειονεκτήματα;

Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πρίν λίγο ο κυριότερος λόγος για την στασιμότητα της ελληνικής αγοράς φ/β. (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης φ/β kWh)

Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη.

Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κλινοβατάρας.

Τι ενεργειακές ανάγκες μπορώ να καλύψω με ένα φωτοβολταϊκό;

Φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη, ηχητική κάλυψη... οποιαδήποτε ουσιαστικά ενεργειακή ανάγκη μπορεί να καλυφθεί από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ξέρει κανείς για τα φωτοβολταϊκά είναι ότι παράγουν συνεχές ρεύμα. Αυτό σημαίνει είτε ότι τα χρησιμοποιούμε με συσκευές συνεχούς ρεύματος είτε μετατρέπουμε αυτό το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο 230 V (σε ρεύμα ίδιο με της ΔΕΗ δηλαδή) με τη βοήθεια κάποιων ηλεκτρονικών συσκευών.

Για λόγους απόδοσης και οικονομίας πάντως, δεν συνιστάται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ ή θερμοσυσσωρευτές. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις που δεν στηρίζονται καθόλου στον ηλεκτρισμό, όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο ηλιακός κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα συστήματα θέρμανσης φυσικού αερίου, υγραερίου κ.λπ.

Ας πάρουμε το παράδειγμα της θέρμανσης νερού: αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, το ηλιακό φως μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης και η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις, τηλεπικοινωνίες κ.λπ) αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκά.

2.2. Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα



Εικόνα(15).Πηγή: www.heliosres.gr

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Αρκοί, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ, αλλά και του ΕΠΑΝ.

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,2MWp στο τέλος του έτους 2003, το 50% των οποίων είναι Φ/Β εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κατά το 2002 και 2003, ήταν 2,3GWh και 2,7 G Wh αντίστοιχα. Το εκτιμώμενο δυναμικό της βιομηχανίας Φ/Β στην Ελλάδα είναι 60–70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των € εκατομμυρίων. Αντίστοιχα, ο ετήσιος εθνικός προϋπολογισμός για Ε&Α σε Φ/Β τεχνολογίες εκτιμάται σε €2,2 εκατομμύρια.

Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

2.3. Παραδείγματα Εφαρμογών

Στήριξη στο Έδαφος

Σύστημα σταθερού προσανατολισμού



Σύστημα παρακολούθησης τροχιάς δύο αξόνων



Εικόνες(16-20).Πηγή: www.heliosres.gr

Στήριξη σε οροφή κτηρίου

Σύστημα εγκατεστημένο σε επικλινή στέγη



Σύστημα εγκατεστημένο σε επίπεδη στέγη

Εικόνες(21-27).Πηγή: www.heliosres.gr

ΒIPV (Ενσωμάτωση στο κέλυφος του κτηρίου)

Συστήματα ενσωματωμένα στο κέλυφος κτηρίου

Εικόνες(22-33).Πηγή: www.heliosres.gr

Ειδικές εφαρμογές

Σύστημα πλήρωσης δεξαμενής



Αντλητικό σύστημα

Ηλεκτροδότηση
σε απομακρυσμένες περιοχές

Αυτόνομο πλωτό σκάφος



Αυτόνομο φωτιστικό οδού

Εικόνες(34-38).Πηγή: www.heliosres.gr

Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών.
- Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.
- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ Φ/Β

3.1. Τύποι Φωτοβολταϊκών Υλικών

Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο στην φωτοβολταϊκή βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό που παράγεται με μαζικό τρόπο. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το οξείδιο του πυριτίου (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί 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 125C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες .
- Μια κατηγοριοποίηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Τύποι στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

1). Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Monocrystalline 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 στοιχεία χαρακτηρίζονται από καλύτερη σχέση απόδοσης / επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) καθώς και η μέθοδος FZ (float zone) και οι δύο πάντως βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

2). Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Polycrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για το ΦΒ πλαίσιο. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η ανάπτυξη φύλλων πολυκρυσταλλικού υλικού και η μέθοδος εναπόθεσης.

3). Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται ουσιαστικά για μια ταινία πολυκρυσταλλικού υλικού. Δεν υπάρχει προς το παρόν εμπορική εκμετάλλευση λόγω του εξαιρετικά υψηλού κόστους παραγωγής του. Η απόδοση του είναι γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων**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 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. Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα 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. Η λέξη άμορφο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την χρήση των thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η αρκετά μικρότερη διάρκεια ζωής. 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 φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά.

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 η 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 αλλά 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 είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών concentrators. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει 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.

3.2. Φωτοβολταϊκά πλαίσια

- Μονοκρυσταλλικά
- Πολυκρυσταλλικά
- Λεπτού υμενίου (Thin film)

Μονοκρυσταλλικά πλαίσια

Τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια από πυρίτιο πετυχαίνουν υψηλή απόδοση, μέχρι και 20%. Για την παραγωγή τους όμως απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας με αποτέλεσμα η υψηλή τιμή τους να τα καθιστά απαγορευτικά για τη χρήση τους σε φωτοβολταϊκά πάρκα.

Πολυκρυσταλλικά πλαίσια

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια πετυχαίνουν απόδοση περίπου 16% , τιμή εξαιρετικά ικανοποιητική και το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ μικρότερο από εκείνο των μονοκρυσταλλικών πλαισίων και για αυτό χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

Λεπτού υμενίου (Thin film)

Η τεχνολογία των πλαισίων λεπτού υμενίου αναπτύχθηκε ως οικονομική λύση για φωτοβολταϊκά συστήματα λόγω του χαμηλού ενεργειακού κόστους και κόστους παρασκευής. Έχουν σχετικά χαμηλή απόδοση (6 έως 8 %) αλλά λόγω της εξαιρετικά καλής συμπεριφοράς τους στις υψηλές θερμοκρασίες (θερμά κλίματα) και στο διάχυτο φως χρησιμοποιούνται συχνά σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών.

3.3. Νέα υλικά για Φ/Β στοιχεία

Τα πολυμερή για ακόμα μια φορά με τις απίστευτες ιδιότητες που έχουν μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο ακόμα και στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα στη ζωή μας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή τους στη κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πρώτη ύλη βέβαια πολυμερή και κάποιες άλλες ενώσεις.

Παρόλο το μεγάλο κόστος που συνοδεύεται με αυτό το εγχείρημα μπορούμε κάποια στιγμή στο μέλλον να ελπίζουμε ότι όλοι μας θα έχουμε στα σπίτια μας ένα ηλιακό κάτοπτρο φτιαγμένο από πολυμερή το οποίο θα μας βοηθάει να συγκεντρώνουμε την ηλιακή ενέργεια προς όφελος φυσικά της καθημερινής άνεσής μας.

Τα φωτοβολταϊκά πολυμερή παρουσιάζουν την δυνατότητα να απορροφούν τα χρώματα του φωτός του ήλιου που χρησιμοποιούνται ως επιστρώματα στις στέγες ή ακόμα και ως αναπόσπαστο τμήμα ινών για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ήλιου.

Οι επιστήμονες MacDiarmid, Shirakawa, και Heeger έφεραν στο προσκήνιο τις μοναδικές ιδιότητες των conjugated πολυμερών σωμάτων το 1977 όταν ανακάλυψαν ότι η χημική νάρκωση αυτών των υλικών οδήγησε στις αυξήσεις στην ηλεκτρονική αγωγιμότητα πέρα από διάφορα μεγέθη.

Από τότε, η ηλεκτρονική κατεύθυνση των υλικών βασίζεται στα conjugated πολυμερή σώματα που έχουν εφαρμοστεί σε διαφορετικά στοιχεία όπως οι αισθητήρες, βιολικά, δίοδοι που εκπέμπουν φως, ενεργοποιητές πολυμερών, και παράγωγα προστασίας διάβρωσης.

Παρακάτω θα γίνει μια εκτενής αναφορά στην επίδραση των φωτοβολταϊκών στα conjugated πολυμερή ενώ παράλληλα θα γίνει και μια προσπάθεια να εξετάσουμε το σημερινό καθεστώς το οποίο επικρατεί αυτή τη στιγμή αλλά βέβαια και τις εφαρμογές τους.

Τα conjugated πολυμερή σώματα έχουν ένα πλαίσιο εναλλασσόμενων απλών και διπλών δεσμών άνθρακα-άνθρακα και μερικές φορές άνθρακα-άζωτο. Οι απλοί δεσμοί αναφέρονται ως π-δεσμοί, και οι διπλοί δεσμοί περιέχουν ένα σ-δεσμό και ένα π-δεσμό. Όλα τα conjugated πολυμερή έχουν μια σπονδυλική στήλη σ-δεσμών που επικαλύπτεται με υβριδικά τροχιακά SP². Η συμπεριφορά των conjugated πολυμερών αλλάζει εντυπωσιακά με τη χημική νάρκωση (chemical doping).

Γενικά, πολυμερή σώματα όπως το polypyrrole (PPy) είναι μερικώς οξειδωμένα για να παράγουν τα π- doping υλικά. Τα p-doped πολυμερή έχουν πολλές εφαρμογές για παράδειγμα ηλεκτροχρωμικές συσκευές, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, πυκνωτές, μεμβράνες, και ηλεκτρομαγνητικά προστατευτικά καλύμματα.

Σήμερα μόνο τρία conjugated πολυμερή έχουν τραβήξει ιδιαίτερα την προσοχή για χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα πολυμερή είναι τα εξής το **Poly(p-phenylenevinylenes)**, **Polyanilines**, **Polythiophenes**.

Οι μελλοντικές εφαρμογές του είναι αρκετά αισιόδοξες και ιδιαίτερα στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Μάλιστα τα φωτοβολταϊκά πολυμερή υπόσχονται πολλά στο μέλλον αφού γίνονται πολλές προσπάθειες προκειμένου να βρεθεί ένα υλικό για την μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πολύ μικρό κόστος παραγωγής και μεγάλης απόδοσης.

Έτσι θα γίνει εφικτή η φτηνή ηλιακή ενέργεια που είναι η βασικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και που ουσιαστικά μένει ανεκμετάλλευτη, αφού το κόστος παραγωγής της είναι τεράστιο σε σχέση πάντα με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Τα conjugated πολυμερή μπορούν να εκθέσουν διεξαγωγή ηλεκτρονίων παρόμοια με τους συμβατικούς ημιαγωγούς, μια επίδραση που ενισχύεται κοντά στο χημικό doping.

Τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγονται με το χωρισμό των ζευγαριών ηλεκτρονίων. Αυτό γίνεται με τη διαμόρφωση των διεπαφών μεταξύ των υλικών που έχουν τις διαφορετικές δυνατότητες ιονισμού και τις συγγένειες ηλεκτρονίων. Οι διεπαφές δημιουργούνται με την επαφή των στρωμάτων των μετάλλων, των ανόργανων οξειδίων, και των πολυμερών σωμάτων, ή με τη δημιουργία των πολυμερών δικτύων.

Αν και τα καλύτερα φωτοβολταϊκά πολυμερή σώματα που έχουν παραχθεί μέχρι τώρα είναι λιγότερο αποδοτικά από τα αντίστοιχα πυριτίου παράγουν τις υψηλότερες ανοιχτές τάσεις. Τα πολυμερή σώματα αναπτύσσονται με χρήση χρωστικών ουσιών για να αυξήσουν την ελαφριά αποδοτικότητα συλλογής.

Οι μέθοδοι πολυμερισμού αναπτύσσονται για να αυξήσουν τη δομή τους παράγοντας εκείνες τις μεταφορικές ιδιότητες που θα τα κάνουν να γίνουν καλύτερα για τις αντίστοιχες χρήσεις. Έτσι ίσως να σας ακούγεται παράλογο μια μέρα να μπορέσετε να μετατρέψετε το εξωτερικό του σπιτιού σας σε ένα μεγάλο ηλιακό συσσωρευτή με φωτοβολταϊκό πολυμερές χρώμα.

3.4. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Κινητής Βάσης



Εικόνα(39).Πηγή: www.npt.gr

Η εταιρεία σχεδίασε και κατασκεύασε το **Σύστημα Κινούμενης Βάσης - Ηλιοτρόπιο** το οποίο είναι ένα εξαιρετικά αξιόπιστο μονοαξονικό σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου στον ορίζοντα.

Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες τοποθετούνται πάνω στην κινούμενη βάση έτσι ώστε να έχουν κατεύθυνση πάντα προς τον ήλιο, και έτσι να αυξάνεται η απόδοσή τους κατά 25% έως 50% όλο τον χρόνο όπως εκτιμάται για την Ελλάδα.

Η σχεδίαση και κατασκευή του Ηλιοτροπίου έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει στις χειρότερες κλιματικές συνθήκες, η συντήρησή του να είναι ελάχιστη μία φορά τον χρόνο και οι αντοχές των υλικών κατασκευής είναι δοκιμασμένες σε ακραίες καταστάσεις.

Η πορεία της κινούμενης βάσης είναι από Ανατολικά (E) προς Δυτικά (W) κατά την διάρκεια της ημέρας και ο προσανατολισμός της βάσης είναι Νότιος (S).

Η γωνία κλίσης ϵ των Φ/Β συλλεκτών ως προς τον οριζόντιο άξονα μεταβάλλεται χειροκίνητα από 20° έως 65° έτσι ώστε να προσαρμόζεται σύμφωνα με την μετατόπιση του ήλιου τις τέσσερις εποχές του χρόνου.

Κάθε πρωί το σύστημα προσανατολίζεται Ανατολικά (E) και παρακολουθεί την πορεία του ήλιου ξεκινώντας την ώρα ανατολής του ήλιου. Ως ώρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα Ανατολής του ήλιου κατά την Εαρινή Ισημερία του τόπου εγκατάστασης του συστήματος.

Η παρακολούθηση του ορίζοντα από το σύστημα γίνεται ανεξάρτητα εάν υπάρχει ηλιοφάνεια ή συννεφιά, έτσι ώστε να γίνεται εκμετάλλευση και της παραμικρής ηλιαχτίδας του ήλιου για την παραγωγή ενέργειας.

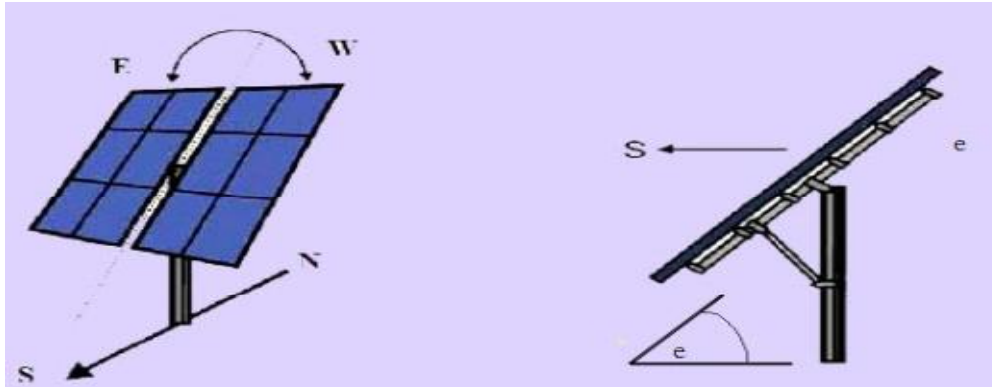
Η πορεία του ήλιου στον ορίζοντα παρακολουθείτε από την Ανατολή μέχρι την Δύση, μετατοπίζοντας τον άξονα του συστήματος κατά 9° σε είκοσι κινήσεις (βήματα). Τα βήματα μετατόπισης του άξονα μπορούν να μεταβληθούν έτσι ώστε η πορεία παρακολούθησης του ήλιου στον ορίζοντα να αλλάζει σύμφωνα με τον τόπο εγκατάστασης του συστήματος.

Κατά την διάρκεια της νύκτας το σύστημα επανέρχεται στην θέση που βλέπει προς την Ανατολή και είναι έτοιμο για την εκκίνησή την ώρα της Ανατολής του ήλιου.

Τα κινητά μέρη είναι στεγανά και αντέχουν σε συνθήκες θερμοκρασίας από -30°. έως 50°. C. Η διάρκεια κίνησης του κινητήρα σε ένα εικοσιτετράωρο είναι είκοσι λεπτά (20min) και έτσι οι φθορές είναι ελάχιστες. Η ετήσια κατανάλωση σε ηλεκτρισμό είναι 5KWH.

Η συντήρηση του ΣΚΒ είναι ελάχιστη γιατί όλα τα κινούμενα μέρη είναι στεγανά και τα υλικά κατασκευής του μεταλλικού μέρους του ΣΚΒ είναι ανοξειδώτα. Η λίπανση του κοχλία γίνεται μία φορά το έτος και υπάρχει πρόβλεψη και για χειροκίνητη κίνηση σε περίπτωση βλάβης.

Η όλη κατασκευή είναι υπολογισμένη ώστε να αντέχει σε ανέμους με ταχύτητα άνω των 150 Km/h.

Εικόνα(40).Πηγή: www.npt.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ (THIN FILM PV)

4.1. Τεχνολογία λεπτού υμένα

Οι αγοραστές φωτοβολταϊκών πλαισίων ενδιαφέρονται για υψηλής απόδοσης φ/β πλαίσια, ανά Watt εγκατεστημένης ισχύος σε πραγματικές συνθήκες. Η συγκεκριμένη κατάσταση είναι ιδιαίτερα συχνή σε χώρες που υπάρχουν υψηλές τιμές επιδότησης της kWh (Feed-in tariff), όπως είναι η Ισπανία, η Ελλάδα και η Γερμανία.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνήθως διατίθενται με αναγραφόμενη την ονομαστική τους ισχύ (**W_p**), υπό συνθήκες εργαστηρίου, διεθνώς αποδεκτές - STC conditions, (1000 W/m², 25 °C, AM1.5). Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια υπό πραγματικές συνθήκες σπάνια μπορούν να δώσουν την ονομαστική τους ισχύ.

Μολονότι λειτουργούν σε εύρος θερμοκρασίας 40 - 60 °C, σε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, (ισχύει κυρίως για τα BIPV), οι ώρες στις οποίες υπάρχει ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας 1000W/m², αποτελούν το 1% επί του συνόλου της ηλιοφάνειας, του έτους. Κατά την διάρκεια του έτους λόγω της αλλαγής του καιρού εποχικά, αλλάζει το εύρος ηλιακής ακτινοβολίας.

Επίσης το διάχυτο φως επικρατεί όταν υπάρχει συννεφιά, καθώς επίσης, τα πρωινά και τα απογεύματα. Εξαιρουμένης της νότιας Ευρώπης και κατά συνέπεια και της χώρας μας, το ποσό απαιτούμενης ηλιακής ακτινοβολίας προέρχεται κατά 50% από το διάχυτο φως. Ακόμα και στην Ελλάδα το ποσοστό διάχυτου φωτός φθάνει το 33%.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτού υμένα υπερτερούν με βάση την συγκεκριμένη κρίσιμη παράμετρο έναντι των υπολοίπων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα εν λόγω πλαίσια αν και δεν μπορούν να είναι ανταγωνιστικά λόγω της τιμής του πυριτίου τη σήμερον ημέρα, αφήνουν υποσχέσεις για απόλυτη κυριαρχία στην αγορά λόγω της αυξημένης πιθανότητας,

για χαμηλού κόστους μαζική παραγωγή, όταν η τεχνολογία επιτρέψει την παραγωγή ανταγωνιστικής απόδοσης φ/β πλαισίων λεπτού υμένα.

Με βάση τα στοιχεία της αγοράς για το 2007, περισσότερο από 94% είναι το ποσοστό των κρυσταλλικών φ/β στοιχείων, ενώ λιγότερο από 6% ανήκει στα λεπτού υμένα. Ωστόσο στο τέλος του 2010 αναμένεται να καταλάβουν περίπου το 20% , και να αυξηθούν περαιτέρω τα επόμενα χρόνια.

4.2. Πλεονεκτήματα φ/β λεπτού υμένα

Οι τεχνολογίες λεπτού υμένα εν συγκρίσει με τις τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου δεν παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αναφορικά με τα ποσοστά απόδοσης και μηχανικής αντοχής, όμως παρατίθενται παρακάτω συγκεντρωμένα, τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα τους.

- 1).Μικρή κατανάλωση πρώτων υλών.
- 2).Οικονομική ανεξαρτησία από τις τιμές και τα αποθέματα πυριτίου.
- 3).Μικρότερη επεξεργασία και αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής.
- 4).Ενσωματωμένο εσωτερικό κύκλωμα δεν χρειάζεται υπολογισμός κάθε φ/β κυψέλης ξεχωριστά για το τελικό προϊόν.

4.3. Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα

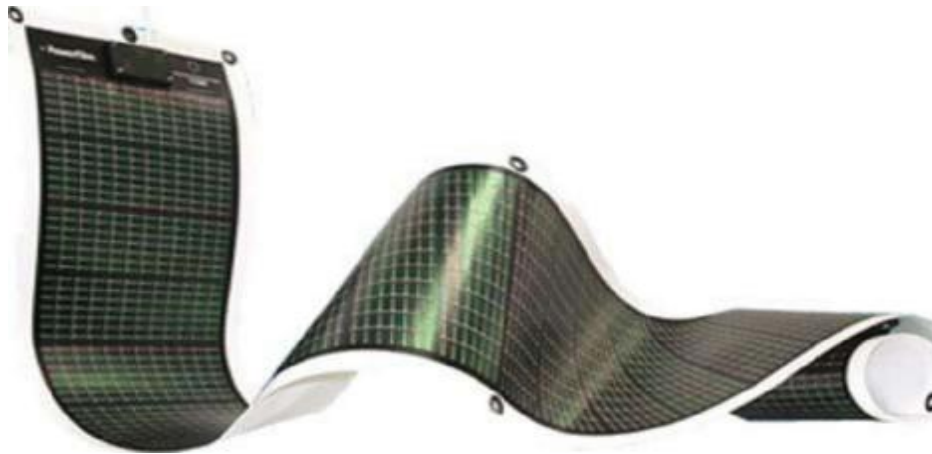
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτού υμένα μπορούν να διαχωριστούν με βάση τα υλικά κατασκευής τους, σε οργανικά και ανόργανα.

4.3.1. Οργανικά φ/β

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, λεπτού υμένα οργανικής φύσεως ή τυπωμένα φ/β πλαίσια, έχουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι όλων των άλλων, και δεν είναι τίποτα άλλο από το ότι είναι εύκαμπτα. Η δομή τους, που τα κάνει εύκαμπτα δίνει την δυνατότητα, να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε βάση στην οποία, δεν μπορούν να τοποθετηθούν συμβατικά - κρυσταλλικά φ/β πλαίσια .

Τα οργανικά φ/β πλαίσια λεπτού υμένα δεν αναπτύσσουν ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των ημιαγωγών τους, καθώς το διηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι τόσο ισχυρό. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη αλληλεπίδραση θετικών και αρνητικών φορτίων. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι η οργανική ημιαγωγοί είναι άμορφοι και για αυτό η μετάδοση φορτίου είναι πιο δύσκολη συγκρίσει με την μετάδοση σε υλικά με κρυσταλλική δομή.

Ένα πλεονέκτημα όμως των οργανικών είναι ότι μπορούν να διατεθούν κατά παραγγελία και σύμφωνα με τις ανάγκες που επιθυμείται να καλύψουν. Τα συγκεκριμένα φ/β πλαίσια εν καιρώ ενδέχεται να αναπτυχθούν περαιτέρω και να διατεθούν στην παραγωγή με ανταγωνιστικές αποδόσεις. Με σιγουριά μπορώ να εκφράσω την άποψη ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιφάνειες και σε προϊόντα, που ο ανθρώπινος νους δεν μπορεί να καλύψει με μία επιδερμική προσέγγιση.

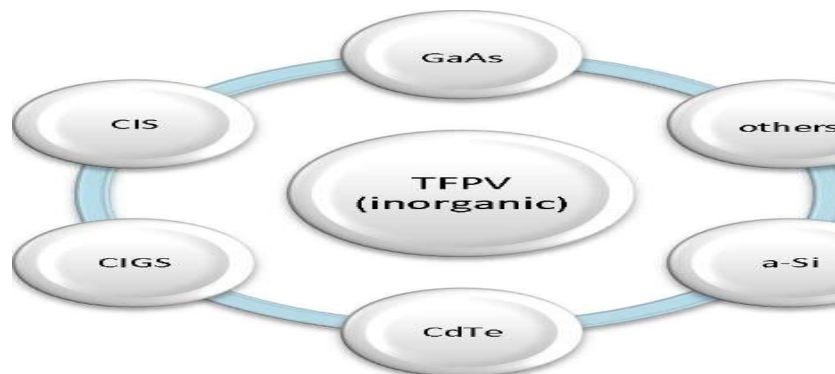


Οργανικό/τυπωμένο φ/β πλαίσιο

Εικόνα(41).Πηγή: www.npt.gr

4.3.2. . Ανόργανα φ/β στοιχεία

Τα ανόργανα φ/β πλαίσια δημιουργήθηκαν ούτως ώστε να καλύψουν της ανάγκες ζήτησης της αγοράς στις αρχές της δεκαετίας του 1990, έτος κατά το οποίο η τιμή του πυριτίου αυξήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό, καθιστώντας την επένδυση μη-συμφέρουσα. Για αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκε μία διαφορετική τεχνολογία φ/β στοιχείων η οποία έχει ως βασική διαφοροποίηση τον τρόπο κατασκευής τους. Όπως προαναφέρθηκε οι βασικές κατηγορίες είναι οι ακόλουθες και θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες,

Σχήμα6-απεικόνιση κυριότερων TFPV
Σχήμα(8).Πηγή: www.hellascams.gr

4.3.3. I. a-Si

Τα άμορφου πυριτίου, φ/β στοιχεία λεπτού υμένα, δεν έχουν συγκεκριμένη κρυσταλλική μορφή αλλά είναι μέρος ενός ακαθόριστου δικτύου. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα κρυσταλλικά. 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 αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο, προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο, με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας, φωτοβολταϊκά, thin film πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 9% 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 φ/β, 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 πρόσφατη. 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.



Πηγή: www.hellascams.gr

Εικόνα(42)- φ/β πλαίσιο λεπτού υμένα , άμορφου πυριτίου

4.3.4. II. CdTe (Καδμίου - Τελλουρίου)

Πρόκειται για φ/β στοιχεία λεπτού υμένα τα οποία έχουν κατασκευαστεί έχοντας ημιαγωγό από τελλουριούχο κάδμιο , ένωση η οποία έχει ενεργειακό διάκενο κοντά στο 1eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, και δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

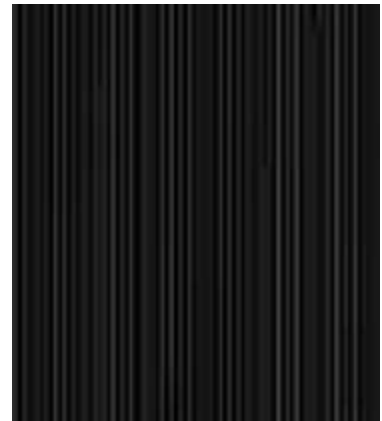
Οι σύγχρονες τεχνικές όμως, προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 9-10%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, έχει φθάσει το 17%. Η τεχνολογία καδμίου -Τελλουρίου, έχει το μικρότερο κόστος παραγωγής από τις υπόλοιπες τεχνολογίες λεπτού υμένα.

Επίσης πρόκειται για μαζική παραγωγή σε μεγαλύτερη κλίμακα, καθιστώντας τα ανωτέρω πλαίσια υποψήφια, για περαιτέρω και μεγαλύτερη, τεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη στο μέλλον. Στα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η επιλογή του καδμίου ως στοιχείο. Το κάδμιο συμπεριλαμβάνεται στα βαρέα μέταλλα, με ότι αυτό συνεπάγεται. Η τοξικότητά του, δρα συγκεντρωτικά στα έμβια όντα, γεγονός που το καθιστά επικίνδυνο για την δημόσια υγεία λόγω του ότι, σύμφωνα με έρευνες το κάδμιο αποδεικνύεται ότι συμπεριλαμβάνεται στα καρκινογόνα στοιχεία.

Οι κατασκευαστές του συγκεκριμένου είδους φ/β πλαισίου αντιπαραθέτουν το επιχείρημα, ότι δεν επηρεάζεται το εκάστοτε οικοσύστημα το οποίο το φιλοξενεί, λόγω του ότι πρόκειται για ένα κλειστό σύστημα. Επίσης αντιπαραθέτουν τον γνωστό «PV cycle», στον οποίο είναι βασισμένη η ανακύκλωση των προαναφερθέντων στοιχείων κατά 100%, με ευθύνη και κόστος που βαραίνει τους κατασκευαστές.

4.3.5. III. CIS/CIGS

Δισελληνιοινδιούχος χαλκός (CIS). Η προαναφερθείσα τεχνολογία προκρίνει φ/β πλαίσια τα οποία έχουν εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως. Παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 14%. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο, μέχρι 18,8% εργαστηριακά (CIGS). Ένα βασικό μειονέκτημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο είναι πεπερασμένο στοιχείο στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



4.3.6. IV. 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 Αρσενικό, δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενιούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multiple junction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 25%, ίσως και το 29% από μη αναγνωρισμένες πηγές.



Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (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 τους, ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες προσέγγισης φ/β στοιχείων λεπτού υμένα, γενικότερα υπάρχει το δόγμα ότι τα μεγάλα περιθώρια βελτίωσης των τεχνολογιών, που

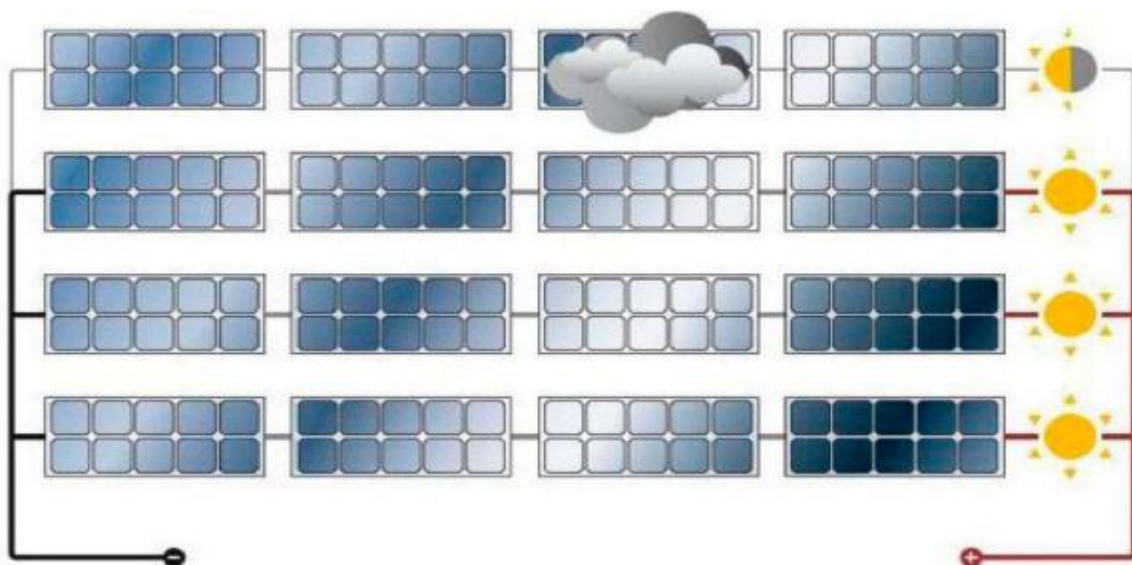
υφίστανται, καθιστούν τα παρόντα στοιχεία, αδύναμα με την πάροδο του χρόνου. Η τεχνολογία αναπτύσσεται με εκθετικό βαθμό και η έρευνα θα δώσει στο άμεσο μέλλον αποτελέσματα και εξελίξεις που δεν είναι μακροσκοπικά ευδιάκριτες.

4.4. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Η τεχνολογία λεπτού υμένα λόγω της φύσης πλαισίων, ενσωματώνει την σύνδεση των φ/β στοιχείων που απαρτίζουν ένα πλαίσιο, στο στάδιο της κατασκευής τους κατά την αυτοματοποιημένη παραγωγή τους.

Εν αντιθέσει με τα κρυσταλλικού τύπου πλαίσια που συνδέονται ένα προς ένα μετά την παραγωγή τους. Τα φ/β πλαίσια λεπτού υμένα έχουν μια βασική διαφοροποίηση στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που τα περιγράφουν, έναντι των κρυσταλλικών. Τα φ/β στοιχεία λεπτού υμένα για να αποδώσουν την ονομαστική τους ισχύ παρουσιάζουν μεγάλη τάση και μικρότερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος.

Εν αντιθέσει με τα κρυσταλλικού τύπου φ/β πλαίσια που παρουσιάζουν μικρότερη τάση και μεγαλύτερη ένταση. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν στην εφαρμογή ενός εναλλακτικού τρόπου διαστασιολόγησης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας όλα τα πλαίσια παράλληλα, και κατά συνέπεια παράγοντας μεγαλύτερης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούμε συστοιχίες (strings) χαμηλής τάσης που σε περίπτωση σκίασης απομονώνουν τις απώλειες, όπως διαφαίνεται κατωτέρω,

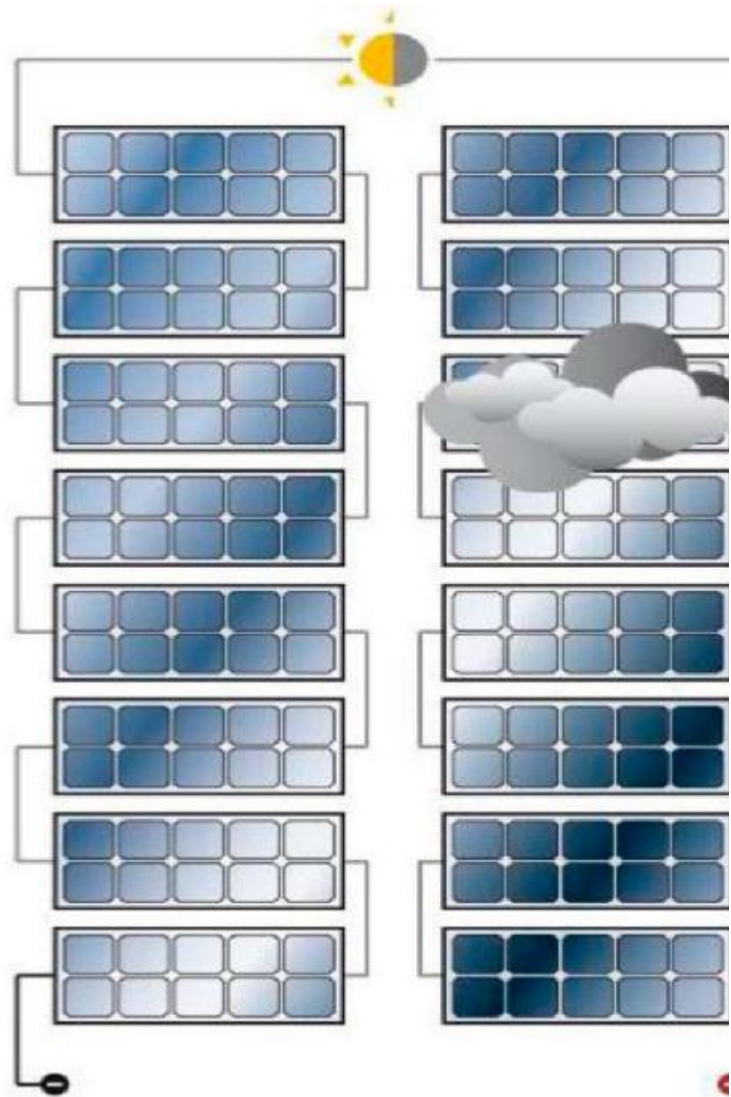


Εικόνα(43)- Απώλειες λόγω σκίασης παράλληλων TFPV

Το κύριο πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης φ/β στοιχείων είναι ότι οι απώλειες λόγω σκίασης, απομονώνονται στην συστοιχία στην οποία λαμβάνουν χώρα, και δεν αφορούν το σύνολο των πλαισίων. Όπως διαφαίνεται, από τα ανωτέρω, όταν μερική σκίαση εμφανίζεται σε μία από τις συστοιχίες της παράλληλης σύνδεσης, καθεμία από τις συστοιχίες που δεν σκιάζονται, θα συνεχίσει να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, σε πλήρη παραγωγική ικανότητα. Εν αντιθέσει με την σύνδεση της εικόνας 43, στην οποία, όταν μερική σκίαση εμφανίζεται, μειώνει συνολικά την ισχύ ολόκληρης της συστοιχίας

Μία μελέτη του πανεπιστημίου του Honk Kong (2008), η οποία είχε ως αντικείμενο έρευνας την ποσοτικοποίηση της διαφοράς σύνδεσης σε σειρά και παράλληλα έδειξε ότι οι σύνδεση παράλληλα των συστοιχιών αποδίδουν στο σύστημα καλύτερη απόδοση, όταν υπάρχουν προβλήματα σκίασης της τάξης του 6%, έναντι των εν σειρά συνδεδεμένων. Τα αποτελέσματα θεωρούνται

εκπληκτικά λόγω του ότι η εν σειρά σύνδεση έλαβε χώρα σε πιο αποδοτικά φ/β πλαίσια. Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα είναι σημαντικά για να απαντηθεί η πρόκληση της απόδοσης φ/β πλαισίων τοποθετημένων εντός οικισμών, στους οποίους τυπικά εμπόδια είναι η σκίαση που δημιουργείται από κτίρια που ανεγείρονται, από δέντρα που μεγαλώνουν καθώς και από τα αιωρούμενα σωματίδια που κατακαθίζουν με τον αέρα και την βροχή.



Εικόνα(44) Απώλειες λόγω σκίασης εν σειρά TFPV.

4.5. Εφαρμογές TFPV

Τα φ/β στοιχεία λεπτού υμένα, ενδείκνυνται, για την εφαρμογή σε πόλεις οι οποίες έχουν συχνές μεταβολές καιρικών φαινομένων, σε πόλεις στις οποίες υπάρχει υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση, σε πόλεις στις οποίες το ρυμοτομικό σχέδιο της εκάστοτε περιοχής δεν αφήνει αρκετούς περιβάλλοντες χώρους ακάλυπτους, σε πόλεις είτε οικισμούς στους οποίους οι ζώνες οικιστικού ελέγχου (περιορίζουν την εγκατάσταση φ/β πλαισίων, μόνο στην σκεπή των οικιών).



Επίσης ενδείκνυνται για περιοχές τις οποίες, ο προσανατολισμός της οικίας δεν είναι νότιος, καθώς επίσης για περιοχές όπου αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Συγκριτικό πλεονέκτημα είναι η εγκατάστασή τους σε προσόψεις κτιρίων όπου εκμεταλλεύονται καλύτερα από οποιοδήποτε άλλο φ/β σύστημα το διάχυτο φως της πόλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΘΕΡΜΟ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (PV/T)

5.1. Εισαγωγή στα PV/T

Το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, από τα φωτοβολταϊκά φ/β στοιχεία, δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά σε θερμότητα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, των φ/β πλαισίων και κατά συνέπεια την μείωση της απόδοσής τους. Η «φυσική ψύξη» των φ/β πλαισίων, δεν επαρκεί για την μείωση της θερμοκρασίας τους σε σημείο που να μην επηρεάζεται η απόδοσή τους, εκτός και εάν εφαρμοστούν συστήματα που υποβοηθούν την ψύξη.

Η απαγωγή της θερμότητας από τα φ/β πλαίσια, μπορεί να προσφέρει κατά κύριο λόγο δύο οφέλη. Το πρώτο σκέλος αφορά την μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους, και το δεύτερο και κυριότερο στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής τους απόδοσης. Τα ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά (PV/T) συστήματα, τα οποία ονομάζονται και υβριδικά θερμό-φωτοβολταϊκά.

Η τεχνολογία, PV/T, αναπτύσσεται, τα τελευταία χρόνια με γοργούς ρυθμούς και προσφέρει συστήματα τα οποία αποτελούν, αξιόπιστες λύσεις σε αρκετούς τομείς στους οποίους είτε η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει την λειτουργία των κοινών φ/β στοιχείων, είτε σε τομείς οι οποίοι χρειάζονται θερμικά φορτία.

Τα υβριδικά θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα είναι απόρροια συνδυασμού κοινών φ/β πλαισίων με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας. Τα εν λόγω φ/β πλαίσια στηρίζονται στο ότι εντός της θερμικής μονάδας απολαβής κυκλοφορεί ένα εργαζόμενο μέσο.

5.2. Είδη PV/T

Η θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας όπως προαναφέρθηκε στηρίζεται στην κυκλοφορία ενός εργαζόμενου μέσου και κατά βάση είναι το είδος του καθορίζει και την κατηγοριοποίηση τους, σε θερμο-φωτοβολταϊκά συστήματα αέρα και υγρού.

5.2.1. PV/T συστήματα αέρα

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία αέρα βασίζεται στην εφαρμογή απλής διάταξης που επιτρέπει στον αέρα να κυκλοφορεί διαμέσου επιφανειών μεταξύ των πλαισίων, ενός συστήματος, αλλά η ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο αποδοτική. Όταν ο αέρας περιβάλλοντος, έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 °C, τα PV/T συστήματα αέρα έχουν περιορισμένες δυνατότητες.

Κατά κανόνα μπορούν να εγκατασταθούν, χρησιμοποιώντας τον φυσικό αερισμό σε κτίρια, και με περιορισμό σε βιομηχανικές και αγροτικές διεργασίες. Η κυκλοφορία του αέρα σε αυτές τις διατάξεις γίνεται είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με βεβιασμένη κυκλοφορία. Η φυσική κυκλοφορία, είναι ο πιο απλός τρόπος να απομακρυνθεί η θερμότητα από τα φ/β πλαίσια ούτως ώστε να μην ανεβαίνει με τόσο μεγάλο ρυθμό η θερμοκρασία τους, όπως στα κοινά πλαίσια.

5.2.2. PV/T συστήματα υγρού.

Τα PV/T, όπως προαναφέρθηκε ανωτέρω στηρίζονται στην απαγωγή θερμότητας, με κυκλοφορία υγρού. Συνήθως πρόκειται είτε για νερό δικτύου, είτε για διάλυμα γλυκόλης. Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου, εξαρτάται από τις μηχανικές αντοχές του συστήματος, το κόστος, και τις απαιτήσεις χρήσεως του εν λόγω συστήματος.

Πρόκειται για πιο ακριβή διαδικασία σε σχέση με την απαγωγή θερμότητας με αέρα, και θεωρείται πιο πρακτική στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των 20 °C, λόγω του ότι, η θερμοκρασία του νερού του δικτύου είναι κάτω από 20 °C, όλη την διάρκεια του έτους, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα.

Τα PV/T συστήματα υγρού, φαίνονται πιο ελκυστικά λόγω της φύσης του ρευστού που επιτρέπει καλύτερη εξαγωγή θερμότητας. Ο συνήθης τρόπος ψύξης του φ/β με υγρό, είναι η κυκλοφορία του, διαμέσου, διατάξεως που ονομάζεται, εναλλάκτης θερμότητας και εφαρμόζεται στην πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Η απόδοση των PV/T, εξαρτάται επίσης από την επιλογή του τύπου της μονάδας απαγωγής της θερμότητας που χρησιμοποιείται. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η απόδοση στην συναλλαγή θερμικής ενέργειας από το φ/β πλαίσιο, καθορίζει την απόδοση μετατροπής, της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας.

5.2.3. Είδη υβριδικών PV/T συλλεκτών υγρού

Οι κυριότερες κατηγορίες των υβριδικών θερμο-φωτοβολταϊκών συλλεκτών υγρού, που κατηγοριοποιούνται με βάση την διάταξη τους, είναι οι ακόλουθοι, υβριδικοί θερμο-

φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors), υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T- collectors), υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ελευθέρως ροής (free flow PV/T-collectors), και οι υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors).

- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors) Είναι οι πιο διαδεδομένοι, και παρουσιάζουν, μεγάλες ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η μόνη, διαφορά τους είναι, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία είναι, προσαρτημένα στην κορυφή της απορροφητικής πλάκας
- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T- collectors), Πρόκειται για το είδος, στο οποίο αντί για σωληνώσεις δημιουργούνται κανάλια εντός του συλλέκτη και κατά κανόνα πάνω από το επίπεδο του φ/β πλαισίου. Οι περιορισμοί όμως που δημιουργούνται αφορούν τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στις συνήθειες εφαρμογές επιτρέπεται να χρησιμοποιείται νερό που έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι, το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού. Πρόκειται για στιβαρή κατασκευή αυξημένου κόστους και βάρους.
- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ελευθέρως ροής (free flow PV/T - collectors), Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό, Σε σύγκριση με τους συλλέκτες PV/T με κανάλια, εδώ δεν υπάρχει, το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται. Στον αντίποδα το μειονέκτημα του, είναι η αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης. Επιπλέον όπως και στην περίπτωση των ανωτέρω συλλεκτών με κανάλια, και εδώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το υγρό που κυλάει πάνω από το φωτοβολταϊκό θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η χρησιμοποίηση του νερού είναι μια λύση όμως, εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Η εξάτμιση έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί προβλήματα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή.
- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two- absorber PV/T- collectors) πρόκειται για συλλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι. Με αυτόν τον τύπο συλλέκτη ασχολήθηκε ο Hendrie στο εργαστήριο του MIT όπου απέδειξε την υψηλή θερμική απόδοση του. Παρόλα αυτά, οι επιστημόνες που έγιναν προηγουμένως για το βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφανο μονωτικό στρώμα ανάμεσα στο επάνω και το κάτω κανάλι ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες, πράξη η οποία μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη.

5.3. Παράμετροι απόδοσης

Η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα υβριδικά PV/T συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του αέρα, η μάζα του εργαζόμενου μέσου, ο τρόπος κατασκευής, ο αριθμός και το είδος των επιπέδων, η θερμική αγωγιμότητα του απορροφητή, και του ρευστού. Ενώ ειδικά στην περίπτωση των και οι διαστάσεις των πλαισίων καθώς και ο τρόπος σύνδεσης τους.

5.4. Εφαρμογές

Η προσέγγιση των εφαρμογών PV/T συστημάτων, είναι περισσότερο ποιοτική στο παρόν κεφάλαιο, λόγω του ότι η διαστασιολόγηση με κατάλληλου τύπου εξοπλισμού που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα, θα πρέπει να απαντούν στις ανάγκες της εφαρμογής τους, όπερ μεθερμηνευόμενων εστί, θα πρέπει να απαντούν σε τρεις παραμέτρους, ποσοτικές ανάγκες θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου, κόστος, μικροσκοπικές παραμέτρους. Εάν απαντηθούν ορθολογικά οι άνωθεν παράμετροι, τότε μπορεί να δημιουργηθεί ένα καθόλα αξιόπιστο σύστημα, με μεγάλη διάρκεια ζωής και με ελάχιστες απώλειες.

Η παρούσα τεχνολογία αξιοποιείται κατά κόρον σε βιομηχανίες οι οποίες χρησιμοποιούν θερμικά φορτία, και πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ούτως ώστε να καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού που χρησιμοποιείται για λοιπές εργασίες, καθώς επίσης στον οικιακό τομέα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών του εκάστοτε ενδιαφερόμενου.

5.5. . Θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτού υμένα

Η μοναδικότητα της παρούσης εργασίας έγκειται στο ότι είναι η πρώτη φορά που καταγράφεται προσέγγιση, ανάπτυξης και μελέτης θερμο-φωτοβολταϊκού συστήματος λεπτού υμένα στον Ελλαδικό χώρο και συσχέτιση του με την Ελληνική νομοθεσία για την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Πάρα ταύτα κατόπιν ερευνάς, εμφανίζεται στην παγκόσμια βιβλιογραφία ένα παράδειγμα ανάλογου μοντέλου στην Ταϊλάνδη, από τον εθνικό τεχνολογικό και επιστημονικό ανάπτυξης της προαναφερθείσας χώρας και δημοσιεύεται με τον τίτλο «Amorphous Silicon Photovoltaic/ThermalsolarcollectorinThailand».

Στο ανωτέρω άρθρο καταγράφεται η μοντελοποίηση και εγκατάσταση το προαναφερθέντος μοντέλου, δίνοντας στοιχεία για την εύρυθμη λειτουργία του. Το μοντέλο εγκαταστάθηκε σε τέσσερα εργοστάσια, έχοντας ως κύρια παραγωγή το θερμικό φορτίο, το οποίο χρησιμοποιούνταν για την ανύψωση της θερμοκρασίας του ρευστού έχοντας ως σκοπό την μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία τους. Παρατίθενται παρακάτω μερικές φωτογραφικές απεικονίσεις των προαναφερθέντων συστημάτων.



Εικόνα(45). Εγκαταστάσεις PV/T TFPV στην Ταϊλάνδη.

Πηγή: www.hellascams.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΜΕ ΠΛΑΙΣΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ.

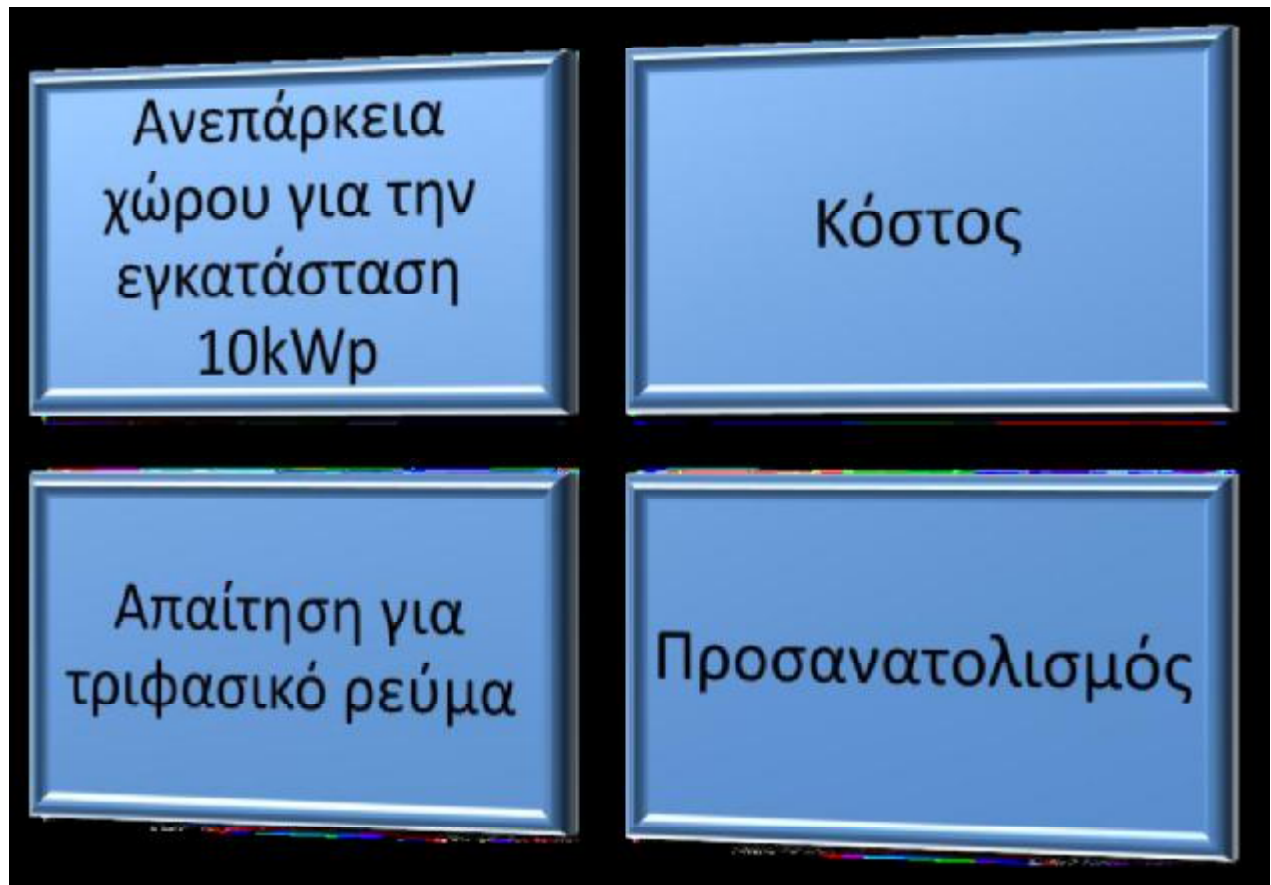
6.1. Κριτήριο επιλογής προσέγγισης μοντέλου (PV/T thin film)

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μία προσπάθεια ούτως ώστε να μελετηθεί, όσο το δυνατόν, με περισσότερη ακρίβεια ένα σύστημα, υβριδικού θερμό- φωτοβολταϊκού βασισμένο στην τεχνολογία λεπτού υμένα, που αφορά την εγκατάσταση σε μία οικία μέσω κόστους κτήσης, σύμφωνα με την παραγωγικότητα ενός μέσου, Έλληνα πολίτη, χρησιμοποιώντας στοιχεία, προσεγγίσεις, και την νομοθεσία του Ελληνικού Status quo.

Ως, μέση κατοικία στο κλεινόν άστυ, θεωρούμε μία κατοικία εμβαδού 87 m². Η εν προκειμένω, προσέγγιση έχει ως σημείο αναφοράς την Ελληνική νομοθεσία και πιο συγκεκριμένα την υπ' αριθμόν 12323 ΚΥΑ, η οποία δίνει το δικαίωμα να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και σε δώματα, εγκατεστημένης ισχύος έως 10kWp, δίχως μεγάλους περιορισμούς. Οι όποιοι περιορισμοί έως σήμερα έχουν να κάνουν με τις πολεοδομικές απαιτήσεις και εξαρτήσεις.

Ο λόγος ο οποίος επιλέχθηκε η παρούσα προσέγγιση είναι απόρροια βαθύτερης κριτικής σκέψης, και προσπάθειας, για μία ρεαλιστική προσέγγιση στα Ελληνικά δεδομένα. Ενδεικτικά αναφέρω πως για ένα σύστημα 10kWp σε παράδοση turn key, από αξιόπιστους προμηθευτές και εγκαταστάτες κοστίζει περίπου 4000-5000 ευρώ ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, ποσό διόλου ευκαταφρόνητο για μία τυπική οικογένεια.

Επίσης το «feed in tariff», για τα συστήματα έως 10kWp, για τα διασυνδεδεμένα οικιακά δίκτυα ανέρχεται στις 0,55 euro/kWh. Σύμφωνα με τα ανωτέρω και από την εργασιακή μου εμπειρία, μελετώντας την ζήτηση και τις απαιτήσεις, οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν και αλλάζουν άρδην την οικονομοτεχνική μελέτη είναι οι ακόλουθοι,



Εικόνα(46).Παράμετροι επιλογής κατάλληλου συστήματος 10kWp.

Πηγή: www.hellascams.gr

Το πιο σύνηθες φαινόμενο, είναι η ζήτηση από υποψήφιους επενδυτές-πελάτες, εγκατάστασης, σε λιγότερα από 120 m², φωτοβολταϊκό σύστημα 10 kWp. Η προαναφερθείσα, εγκατάσταση, σύμφωνα με την ισχύουσα τεχνολογία εμπορίου, θέτει ως ελάχιστο επιτρεπτό όριο, για την εύρυθμη λειτουργία και την μέγιστη απόδοση ενός τέτοιου συστήματος, τα 120 m².

Συνήθως ο ωφέλιμος χώρος που μπορεί να διαθέσει ένας επενδυτής είναι περίπου 60-90 m², γεγονός το οποίο συνυπολογίζοντας, τις πολεοδομικές απαιτήσεις (απόσταση ένα μέτρο από το σθηαίο για λόγους ασφάλειας) μειώνεται δραματικά.

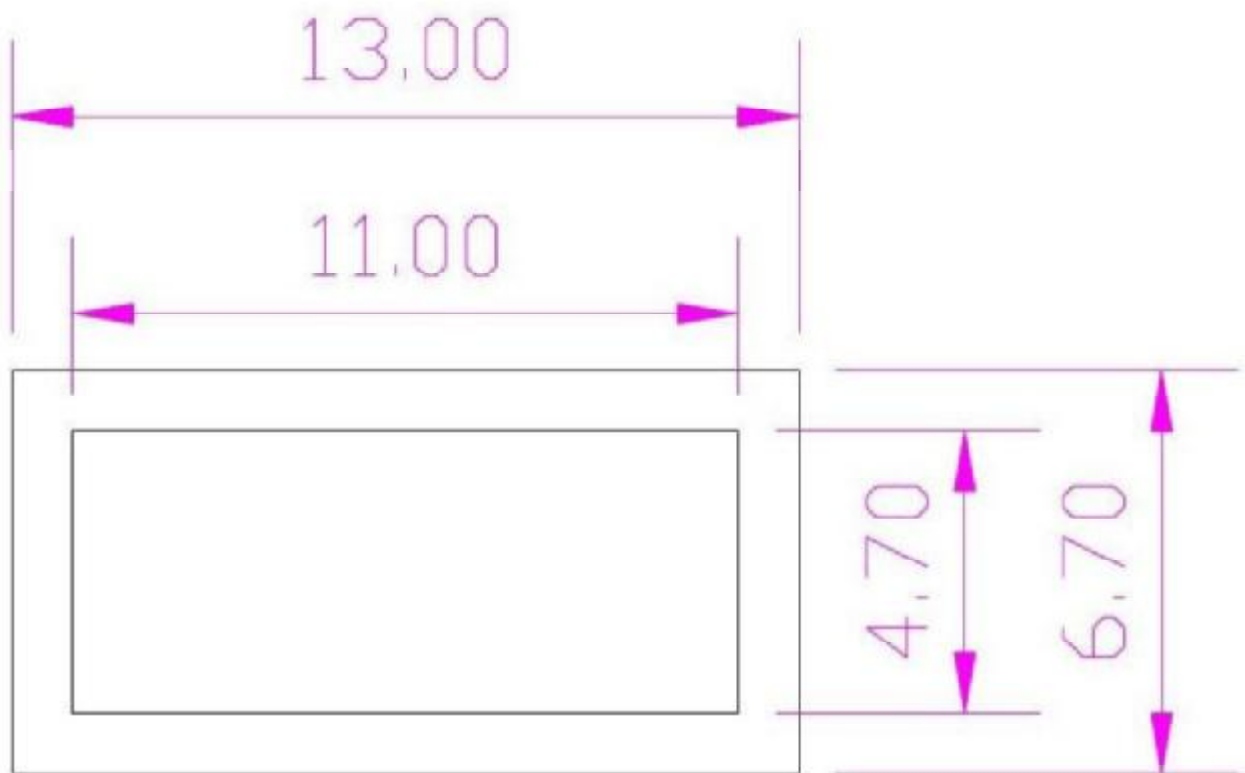
Σύμφωνα με την έρευνα και την θέση εργασίας μου, η οποία καθημερινά με φέρνει αντιμέτωπο με παρόμοιες καταστάσεις, δημιουργείται η πεποίθηση πως εάν ένας υποψήφιος επενδυτής έχει ωφέλιμο χώρο, ο οποίος του επιτρέπει να εγκαταστήσει 6-7 kWp, θα πρέπει για οικονομικούς λόγους, να εγκαταστήσει τελικώς 5kWp, ούτως ώστε να βελτιστοποιήσει την σχέση κόστους-απόδοσης.

Ο κυριότερος διαχωρισμός σε αυτές τις τιμές γίνεται κατά βάση, συνυπολογίζοντας την απαίτηση για τριφασικό ρεύμα, η οποία δημιουργεί την απαίτηση αυξημένου τιμολογίου από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., με την ένδειξη πάγιο για τριφασικό ρεύμα, καθώς επίσης και την απαίτηση ειδικής διαστασιολόγησης της εγκατάστασης η οποία απαιτεί τριφασικό αντιστροφέα.

6.2 Περιγραφή μοντέλου (PV/T thin film)

Συνυπολογίζοντας όλα τα ανωτέρω, προτείνεται η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος 5kWp, αποτελούμενο από πλαίσια λεπτού υμένα τα οποία παρουσιάζουν, μειωμένο θερμοκρασιακό συντελεστή, με απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας ευρύτερου φάσματος, ανθεκτικότερων στις σκεδάσεις, οι οποίες προέρχονται από σκιάσεις φυσικών εμποδίων και σωματίδια της ατμόσφαιρας, τα οποία υπάρχουν σε μεγαλύτερο βαθμό σε μεγάλες πόλεις.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, είναι κατά 35-45% φθηνότερα από τα κρυσταλλικά. Η σχέση που περιγράφει τον απαιτούμενο χώρο, μεταξύ των κρυσταλλικών πλαισίων και των πλαισίων λεπτού υμένα είναι περίπου 3 προς 5. Το σύστημα θα περιλαμβάνει έναν μονοφασικό αντιστοροφέα και επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ρευστού, με κανάλια.. Ο χώρος επιλογής, όπως προαναφέρθηκε, είναι μία οικία 87m², νότια προσανατολισμένη, στην πόλη του Πειραιά, το σχέδιο και οι διαστάσεις της παρατίθενται παρακάτω,



Σχέδιο(1)-Κάτοψη δώματος οικίας.

6.2.1. Επιλογή χαρακτηριστικών συστήματος.

Για το σύστημα επιλέγονται φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα, αντιστροφέας ειδικής λειτουργίας χαμηλής τάσης, και θερμικός συλλέκτης με κανάλια.

6.2.1.1. Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου λεπτού υμένα.

Για την παρούσα προσέγγιση, επιλέχθηκε για δύο κυρίως λόγους το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, micro morph Hs-125 (a-si), της Ελληνικής κατασκευαστικής εταιρείας με έδρα την Πάτρα, «Heliosphera» προδίδοντας και τον ένα λόγο επιλογής του. Ο δεύτερος λόγος επιλογής του προαναφερθέντος πλαισίου είναι λόγω του ότι παράγεται στην Ελλάδα, δεν απαιτούνται να συνυπολογιστούν έξοδα εισαγωγής και προμήθειας. Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πλαισίου παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε πρότυπες συνθήκες δοκιμών (STC)		HS-125
Ονομαστική μέγιστη ισχύς (-0/+5Wp)	Pmp (Wp)	125
Τάση στην ονομαστική ισχύ	Vmp (V)	102,7
Ένταση ρεύματος στην ονομαστική ισχύ	Imp (A)	1,22
Τάση ανοικτού κυκλώματος	Voc (V)	130
Ένταση ρεύματος βραχυκυκλώματος	Isc (A)	1,42
Πυκνότητα ισχύος	Wp/m ²	87,4
STC: 1000W/m ² , AM 1,5 και θερμοκρασία στοιχείων 25°C, σταθεροποιημένη κατάσταση πάνελ		
Συντελεστές θερμοκρασίας		
Ισχύος	TK Pmp (%/°C)	-0,32
Τάσης ανοικτού κυκλώματος	TK Voc (%/°C)	-0,37
Έντασης ρεύματος βραχυκυκλώματος	TK Isc (%/°C)	0,05
Περιγραφή μηχανικών χαρακτηριστικών		
Διαστάσεις (χωρίς πλαίσιο)	mm	1300 x 1100 +/-1
Πάχος (χωρίς κιβώτιο διακλώσεως / πλαίσιο)	mm	6,4 +/- 0,4
Βάρος	kg	περίπου 25
Εμβαδόν επιφάνειας	m ²	1,43
Υλικό συγκόλλησης και υγρασιακής μόνωσης		Πολυβινυλοβουτυράλη (PVB)
Τύπος στοιχείων		Συνδυασμός α-Si/μc-Si
Πλαίσιο (προαιρετικό)		ανοδιωμένο αλουμίνιο
Εμπρός τζάμι	mm	3,2 +/- 0,2 λευκό γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο
Πίσω τζάμι	mm	3,2 mm +/- 0,2
Κιβώτιο διακλώσεως		1 x IP65
Καλώδια	mm	πάχος 2,5 mm ² / μήκος 800-1000
Βύσματα / σύνδεσμοι		MC-4
Οριακές τιμές		
Μέγιστη τάση συστήματος	Vsys (V)	1000
Θερμοκρασία λειτουργίας των πάνελ	°C	-40 - +85
Τυπική θερμοκρασία λειτουργίας	°C	περίπου -20 - +25 πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος
Μέγιστο φορτίο	N/m ²	2400

Εικόνα(47).Πηγή: www.npt.gr

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των φωτοβολταϊκών στοιχείων λεπτού υμένα εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικού τύπου, είναι η υψηλή τάση που εμφανίζουν καθώς και ο χαμηλός θερμοκρασιακός συντελεστής. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί, θα υπάρχει και πλαίσιο αλουμινίου πάχους 2 cm. Το πλαίσιο είναι τύπου κατασκευής «glass to glass». Το

πλεονέκτημα αυτού του τύπου κατασκευής έγκειται, στο ότι το «glass», εμφανίζει υψηλή φωτό- διαπερατότητα.

6.2.1.2 Επιλογή θερμικού συλλέκτη.

Για το εν λόγω σύστημα επιλέγεται κατάλληλος επίπεδος θερμικός συλλέκτης, με κανάλια, ο οποίος επιτρέπει την ενσωμάτωση του, στην πίσω όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η επιλογή αυτή γίνεται με γνώμονα το κόστος, και την δυνατότητα της ομαλής ροής του εργαζόμενου μέσου, το οποίο θα είναι νερό στην ανάπτυξη του παρόντος μοντέλου.

Βασικό κριτήριο επιλογής, ήταν η δυνατότητα, ενσωμάτωσης, στην πίσω όψη του φωτοβολταϊκού, ούτως ώστε η επιφάνεια του, να παραμείνει ακάλυπτη και να μην υπάρχει ροή επάνω από το πλαίσιο, γεγονός που θα προκαλέσει απώλειες λόγω ανάκλασης και διάθλασης στην επιφάνεια του εργαζόμενου μέσου.

Τα κανάλια θα είναι τοποθετημένα ανά 4 cm , και θα έχουν ύψος 2 cm. Ο θερμικός συλλέκτης θα είναι κατασκευασμένος από ανθρακόνημα, (poly-carbon) υλικό, το οποίο έχει μηχανική αντοχή, κατάλληλη μόνωση και με χαρακτηριστικά μικρό βάρος. Δεν επιλέχθηκε ο χαλκός (Cu) είτε το αλουμίνιο (Al) , τα οποία αν και παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα, παρουσιάζουν επίσης αυξημένο τελικό κόστος και αυξάνουν το βάρος της τελικής εγκατάστασης του συστήματος.

Η ένωση γίνεται, με κατάλληλου τύπου θερμική κόλλα με χαρακτηριστικά υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και ενώνει την πίσω όψη του φωτοβολταϊκού (glass) , με την πρόσθια όψη του θερμικού συλλέκτη. Λόγω της υψηλής φωτό- διαπερατότητας , όπως προαναφέρθηκε ανωτέρω , μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στον ηλιακό θερμικό συλλέκτη, εν συγκρίσει με ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο «glass - TPT»

6.2.1.3 Επιλογή Αντιστροφέα.

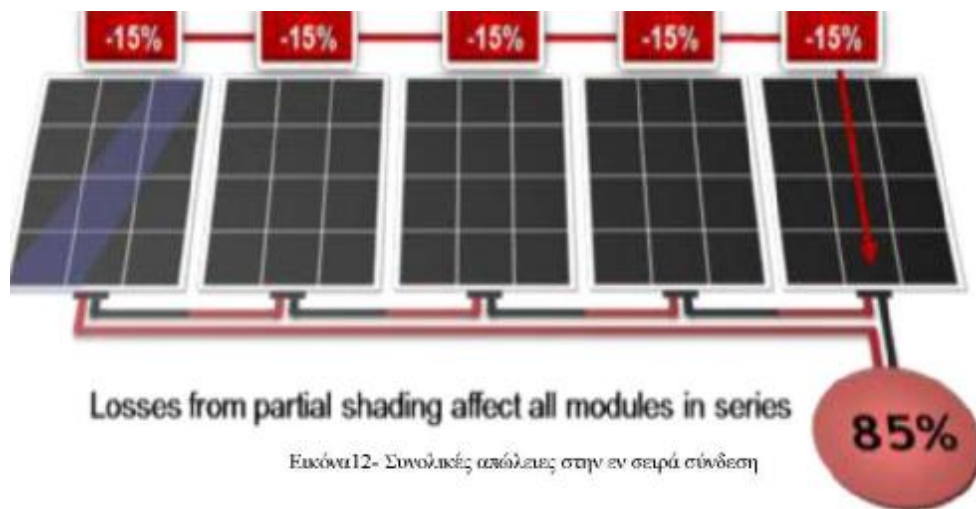
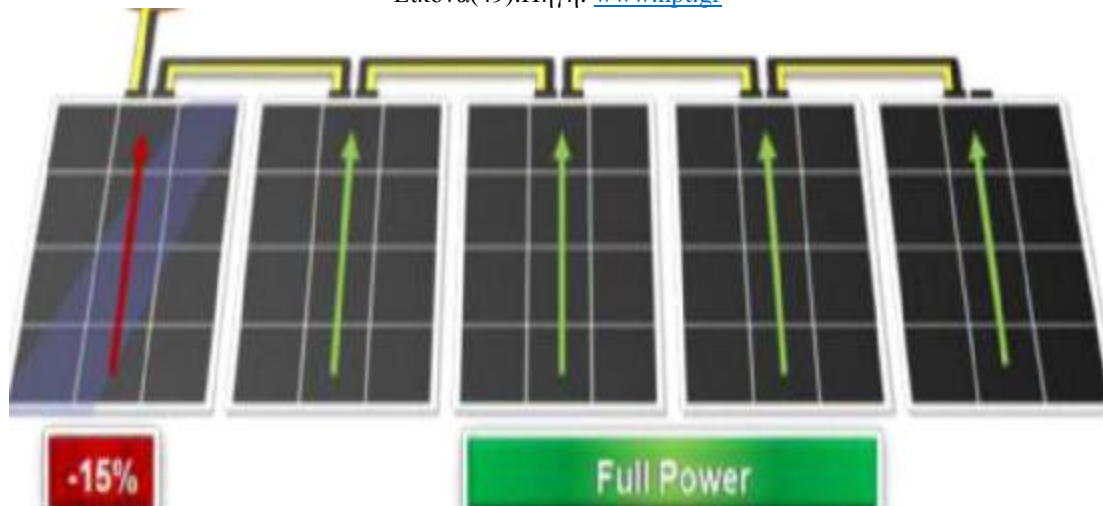
Για το παρόν σύστημα επιλέγεται ο Inverter, της εταιρείας SUNENERGY, και το μοντέλο LV 230. Πρόκειται για έναν «extra low voltage», αντιστροφέα ο οποίος μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός συστήματος, το οποίο θα βασίζεται στον παραλληλισμό των πλαισίων ούτως ώστε να καταστεί λιγότερο ευάλωτο στις σκιάσεις που μπορούν να προκληθούν είτε από φυσικά εμπόδια, κτήρια και άλλες στατικές κατασκευές καθώς επίσης και από αιωρούμενα σωματίδια που κατακαθίζουν στις επιφάνειες των πλαισίων.

Ο συγκεκριμένος τύπος αντιστροφέα μπορεί να εξασφαλίσει την αξιοπιστία του συστήματος και να υποστηρίξει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την παράλληλη συνδεσμολογία. Τα χαρακτηριστικά του, παρατίθενται στον επόμενο πίνακα. (οι πίνακες του παρόντος κεφαλαίου προέρχονται από τις ίδιες τις εταιρείες.)

Model	Sunergy LV 230	
DC INPUT		
Maximum Input Voltage	150 V	
Rated Input Voltage	85 V	
Operating Voltage Range	70 - 150 V	
MPPT range	70 - 130 V	
Maximum Input Current	77 A	
Maximum Input Short Circuit Current	120 A	
Array circuit grounding		
AC OUTPUT		
Maximum continuous output power	5000 W	
Nominal output power	5000 W (4600 W DE)	
Nominal Output Voltage	230 V, 1 ϕ	
Nominal Output Frequency	50 Hz	
Maximum continuous output current	21.7 A	
Maximum output overcurrent protection	32 A	
Utility Compatibility	VDE 0126-1-1, RD1663 (Spain), PPC (Greece) Operating ranges and trip times adjustable according to local regulatory limits	
Peak Conversion Efficiency	>95%	>95%
EU Efficiency	94%	94%
Output Power Quality, Power Factor	< 2% THD, IEEE 519 Compliant	
PHYSICAL		
External Dimensions	445 x 556 x 287 mm	
Weight - Transformer Module	65kg	65kg
Weight - Inverter Module	13kg	
ENVIRONMENTAL		
Ambient Temperature	-25°C to +50°C, no derating	
Relative Humidity	95%	
Enclosure	Outdoor Rated (inverter module sealed for protection of electronics)	
FEATURES		
Isolation	Integrated Transformer	
Cooling	Active	
Warranty	7 years standard, 10 & 20 years optional	
OPTIONS		
Sunergy Comlink-S	RS485 communication using open protocols, can be polled by third party monitoring equipment	
Sunergy eData	Ethernet communication with onboard datalogger for PC-based monitoring on LAN or WAN	

Εικόνα(48).Χαρακτηριστικά αντιστροφέα LV230 (sunenergy)Πηγή: [Λογισμικό PVSYST](#)

Αξίζει να γίνει ιδιαίτερη μνεία στον «παραλληλισμό» ούτως ώστε να κατανοηθεί το μέγεθος του οφέλους από την συγκεκριμένη συνδεσμολογία. Παραθέτω κατωτέρω την σχηματική διαφορά των συνδέσεων σε σειρά και εν παραλλήλω.

Εικόνα(49).Πηγή: www.npt.grΕικόνα(50).Πηγή: www.npt.gr

6.2.2. Περιγραφή διαστασιολόγησης συστήματος.

Η διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει να έχει ως βασική αρχή τις καταναλώσεις των ανθρώπων που απαρτίζουν το υπό μελέτη σύστημα. Στα αυτόνομα συστήματα η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ζωτικής σημασίας μιας και οι ανάγκες και η καθημερινότητα εξαρτώνται άρρηκτα από την ορθή διαστασιολόγηση.

Στο παρόν (διασυνδεδεμένο) σύστημα, τα οικονομικά κέρδη είναι έμμεσα και προέρχονται με οικονομικό συμψηφισμό στο ενεργειακό ισοζύγιο των ανθρώπων που απαρτίζουν το εν προκειμένω ενεργειακό σύστημα. Διά αυτό τον λόγο αναβάλλεται η παράθεση των συγκεκριμένων στοιχείων για το κεφάλαιο το οποίο περιγράφει οικονομικά το μοντέλο.

6.2.2.1. Διαστασιολόγηση με εξισώσεις.

Η διαστασιολόγηση ενός συστήματος βασίζεται στις παραμέτρους που θέτει ο μελετητής και κατηγοριοποιεί με βάση τον βαθμό αναγκαιότητας σύμφωνα την υποκειμενική του

κρίση. Κατά την παρούσα διαστασιολόγηση χρησιμοποιείται, το μοντέλο το οποίο περιγράφεται στο βιβλίο με τίτλο «Photovoltaics for professionals».

Επιλέγουμε σύστημα ισχύος 5kWp, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Εκτίμηση αριθμού πλαισίων του συστήματος:

Αρχική εκτίμηση αρ. πλαισίων = $\text{Εγκατεστημένη ισχύς (Wp)} / \text{Ισχύς πλαισίου (Wp)} = 5000/125 = 40 \text{ panels}$

Υπολογισμός του αντιστροφέα:

$V_{oc} \text{ (στους } -10 \text{ }^\circ\text{C)} = 130 - (-25-10) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 143,29 \text{ V}$

$V_{mp} \text{ (στους } -10 \text{ }^\circ\text{C)} = 102,7 - (-25-10) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 115,99 \text{ V}$

$V_{mp} \text{ (στους } +70 \text{ }^\circ\text{C)} = 102,7 - (70-25) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 85,68 \text{ V}$

Το ενεργειακό παράθυρο του inverter είναι 70-150. Ενώ το mpv του αντιστροφέα είναι 70-130V, οπότε το σύστημα είναι εξασφαλισμένο. Λόγω του ότι θα τοποθετηθούν όλα τα πλαίσια, παράλληλα, και λόγω του ότι χρησιμοποιούμε μονοφασικό inverter, δεν χρειάζεται να υπολογισθεί κάτι άλλο.

6.2.2.2. Διαστασιολόγηση με το λογισμικό PVSYST.

Το λογισμικό PVSYST, είναι ένα, από τα πιο αξιόλογα και αξιόπιστα, σύγχρονα λογισμικά διαστασιολόγησης και μελέτης. Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο είναι ικανό για τη μελέτη, τον υπολογισμό, την προσομοίωση και την ανάλυση των δεδομένων για ολοκληρωμένα συστήματα PV.

Αυτό το λογισμικό είναι προσαρμοσμένο για διάφορες επιστημονικές ομάδες όπως, αρχιτέκτονες, μηχανικούς, ηλεκτρολόγους και ερευνητές. Περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο πρόγραμμα εξειδικευμένης βοήθειας, το οποίο εξηγεί λεπτομερώς τις διαδικασίες και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν. Προσφέρει μια εργονομική προσέγγιση, με ένα "Green Line" οδηγό, και αναλύει πολλά επίπεδα του έργου.

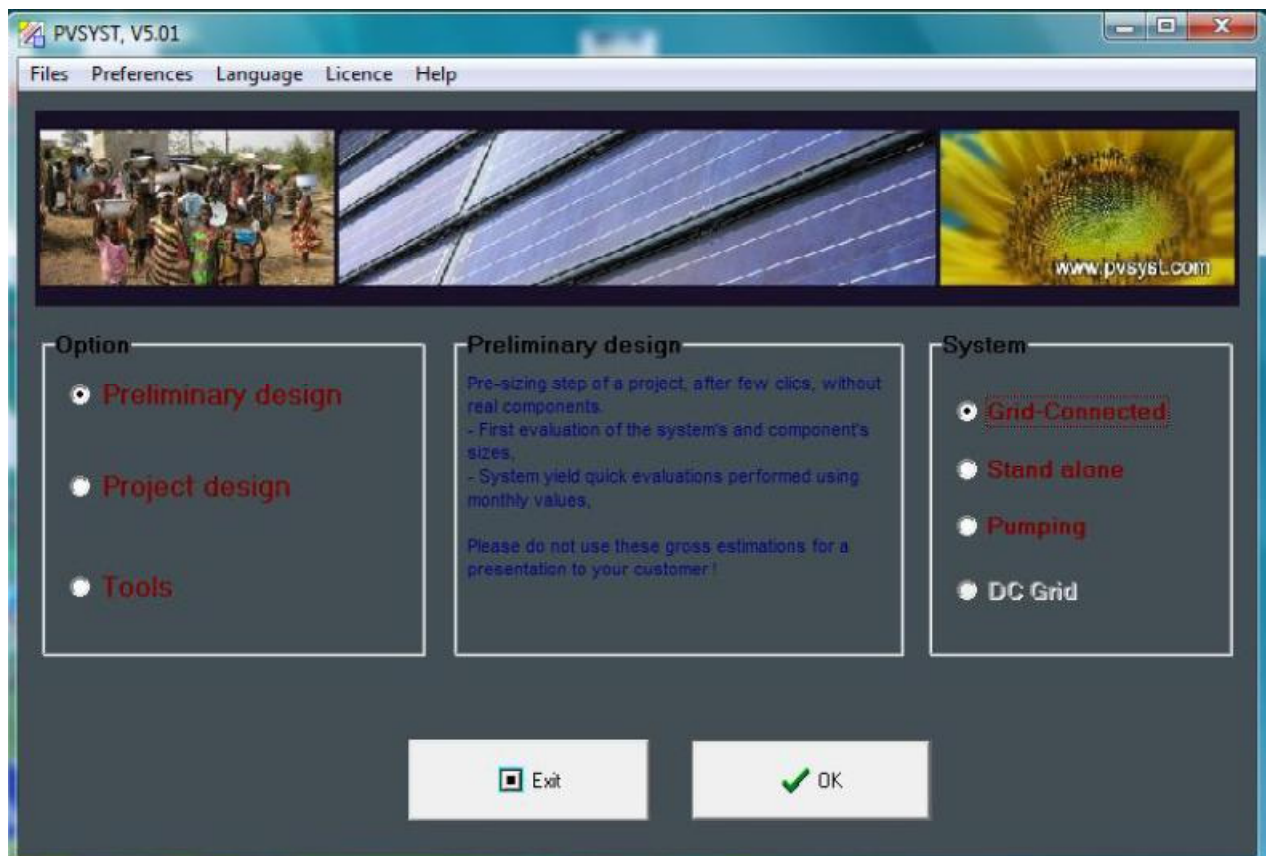
Το PVSYSYΤ, δημιουργήθηκε μετά από τις απαιτήσεις των χρηστών για εξειδικευμένες ανάγκες μοντελοποίησης παραμέτρων, όπως συστήματα διαχείρισης ενέργειας, υπολογισμού αναγκών, και προσομοίωσης δικτύου.

Το PVSYSYΤ έχει την δυνατότητα, να υπολογίσει, τις απώλειες φορτίου, και μπορεί να εκτελεί μια προκαταρκτική αξιολόγηση της παραγωγικότητας, και της δυναμικής του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Πρόκειται για λογισμικό, το οποίο ασκεί λεπτομερή προσομοίωση των ωριαίων/μηνιαίων/ετήσιων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας επίσης, παράγει μια πλήρη εκτυπώσιμη έκθεση με όλες τις παραμέτρους και τα κύρια αποτελέσματα[22].

Ανάλυση και επεξήγηση.

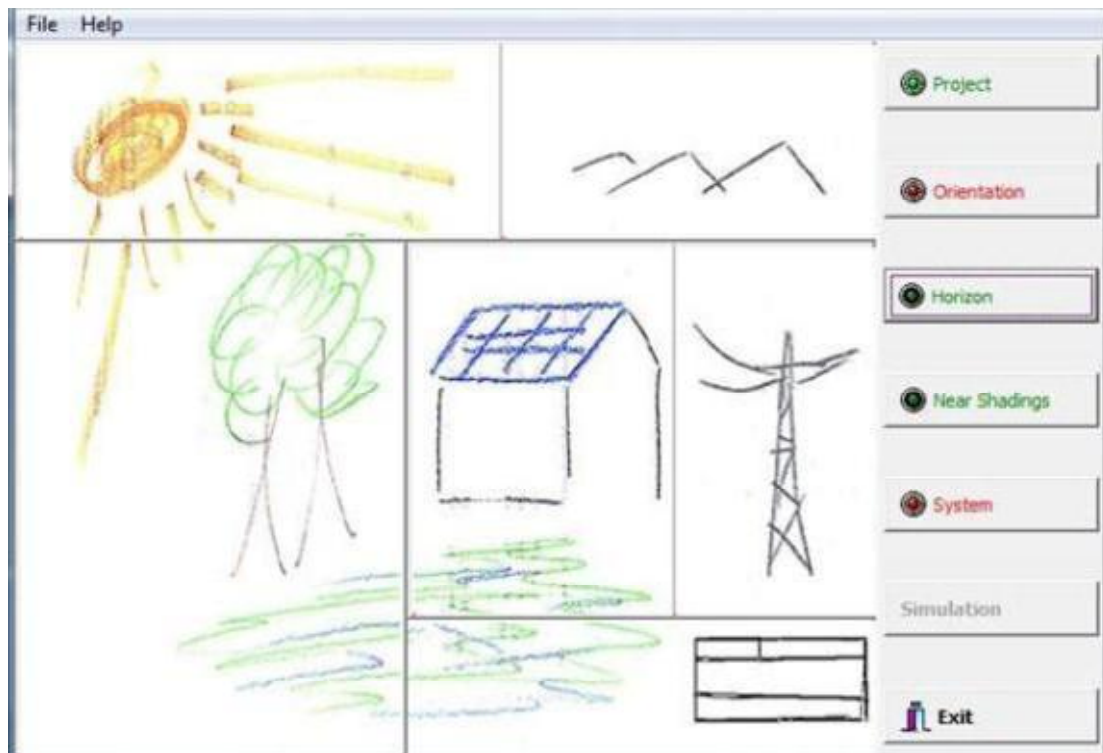
Ξεκινώντας το interface , του προγράμματος αρχικά, μας δίνει την επιλογή του φωτοβολταϊκού συστήματος που επιθυμούμε να εγκαταστήσουμε, μεταξύ αυτόνομων και διασυνδεδεμένων συστημάτων και στην συνέχεια το δικαίωμα της επιλογής ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό εκβάθυνσης της μελέτης. Οι επιλογές σε αυτό το επίπεδο είναι δύο , για τις οποίες ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ πρώιμης μελέτης επιδερμικού χαρακτήρα, και ενεργειακής μελέτη πραγματικών συνθηκών (σχεδιασμός έργου).



Εικόνα(51).Πηγή: Λογισμικό PVSYSYΤ

Αφού επιλέξουμε, για το, σύστημα ενδιαφέροντος, των 5 kWp, τις επιλογές «Project design» και « Grid connected», ακολουθεί το κεντρικό interface, το οποίο λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των υπολογιστικών φύλλων, που μελετούν, την διαστασιολόγηση, με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους.

- (Project) Η γεωγραφική θέση του έργου και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής.
- (Orientation) Προσανατολισμός του συστήματος ως προς, το αζιμούθιο και την κλίση ως προς τον οριζόντιο επίπεδο.
- (Horizon) Σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα από την γεωγραφική θέση του συστήματος.
- (Near shading) Κοντινές σκιάσεις. Πρόκειται για υπολογιστικό και σχεδιαστικό φύλλο εργασιών στο οποίο, μπορεί να συγκριθεί η σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα με την σχεδίαση του μοντέλου 3D, από τον μελετητή, που περιγράφει τις σκιάσεις.
- (System) Διαστασιολόγηση του συστήματος.
- (Simulation) Προσομοίωση του συστήματος.



Εικόνα(52).Πηγή: Λογισμικό PVSYS

Στην επόμενη απεικόνιση ο χρήστης προσθέτει τα στοιχεία του έργου καθώς επίσης και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής, είτε από την βάση δεδομένων του

προγράμματος είτε από κάποια ιστοσελίδα επιστημονικά αποδεκτή. Εμείς έχουμε επιλέξει τα μετεωρολογικά στοιχεία που αφορούν την Αθήνα.

Project and Simulation version definitions

Project's designation
The Project includes mainly the geographic SITE definition, and the associated METEO hourly file

Project's name: Peiraias Date: 8/2/2010

Customer: Phone: Address: Fax: City: Email: Country:

Buttons: Cancel, New project, Load project, Site and Meteo

System Variant
A system version includes all Parameters required for a simulation, the Results of the simulation, and an eventual Economic Evaluation. Within a project, you may construct as many System versions as desired.

Variant n*: New simulation variant New Version

Back (Calculation)

Εικόνα(53).Πηγή: Λογισμικό PVSYS

Στην επόμενη του απεικόνιση, PVSYS ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, επί μέρους χαρακτηριστικά του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος επιλέγονται τα ακόλουθα:

- Είδος βάσης στήριξης του συστήματος - (σταθερές)

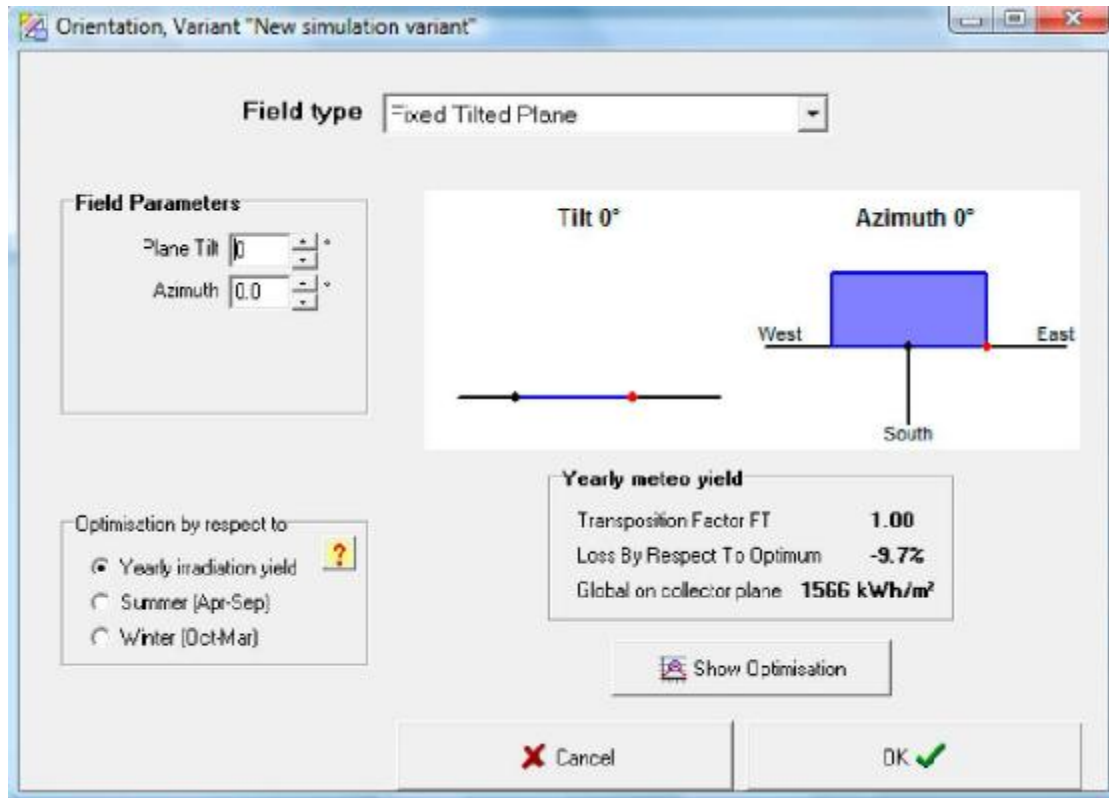
- Γωνία κλίσης ως προς το επίπεδο και το αζιμούθιο. Για το υπό μελέτη σύστημα, έχει επιλεγθεί γωνία κλίσης = 0° και αζιμούθιο = 0° . Η συγκεκριμένη επιλογή, έγινε λόγω του ότι οι απώλειες σε σύστημα με γωνία κλίσης ίση με το 0, αγγίζουν το 10 %. Το όφελος όμως προέρχεται από τις αποστάσεις τις οποίες θα έπρεπε να τηρηθούν μεταξύ των πλαισίων, ούτως ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα σκίασης, σε περίπτωση που είχε επιλεγθεί κλίση = 30° , γεγονός το οποίο είτε θα συρρίκνωνε το σύστημα, είτε θα απαιτούσε περισσότερο χώρο είτε θα δημιουργούσε μεγάλες απώλειες λόγω σκίασης

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0°	30°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	90%	85%	50%
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90%	95%	60%
Νότιος	90%	100%	60%
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90%	67%	30%
Βόρειος	90%	60%	20%

Εικόνα(54).Πηγή: Λογισμικό PVSYST

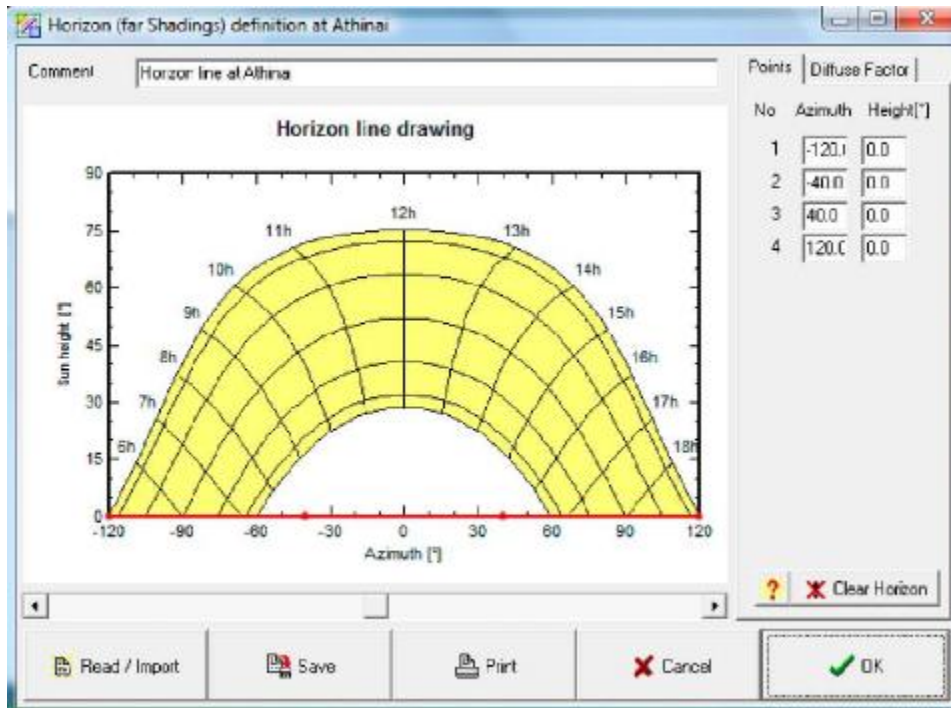
Επίσης από την επόμενη απεικόνιση, λαμβάνουμε, σύμφωνα με τις πρώτες επιλογές του συστήματος ενδιαφέροντος τις ακόλουθες πληροφορίες,

- Οι απώλειες της απόδοσης του συστήματος ως προς την βέλτιστη γωνία κλίσης είναι 9,7 %
- Ο Συντελεστής μεταφοράς ισούται με 1
- Την τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά m^2



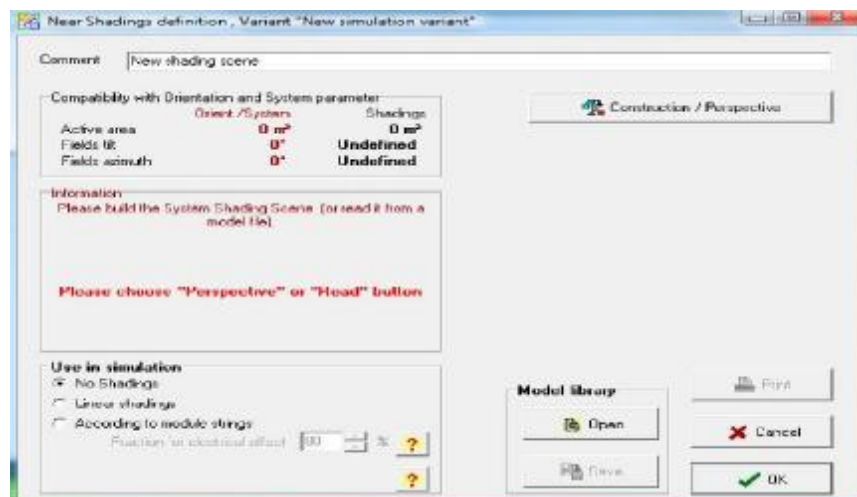
Εικόνα(55).Πηγή: Λογισμικό PVSYSST

Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνουμε το επίπεδο του ορίζοντα του συστήματος. Για τον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν με ακρίβεια φυσικά εμπόδια τα οποία μπορούν να προκύπτουν και από την γεωγραφική θέση και γεωμορφία του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν γίνεται κάποια παρέμβαση στον συγκεκριμένο υπολογιστικό φύλο μοντελοποίησης λόγω του ότι δεν υπάρχει ορατό εμπόδιο.



Εικόνα(56).Πηγή: Λογισμικό PVSYS

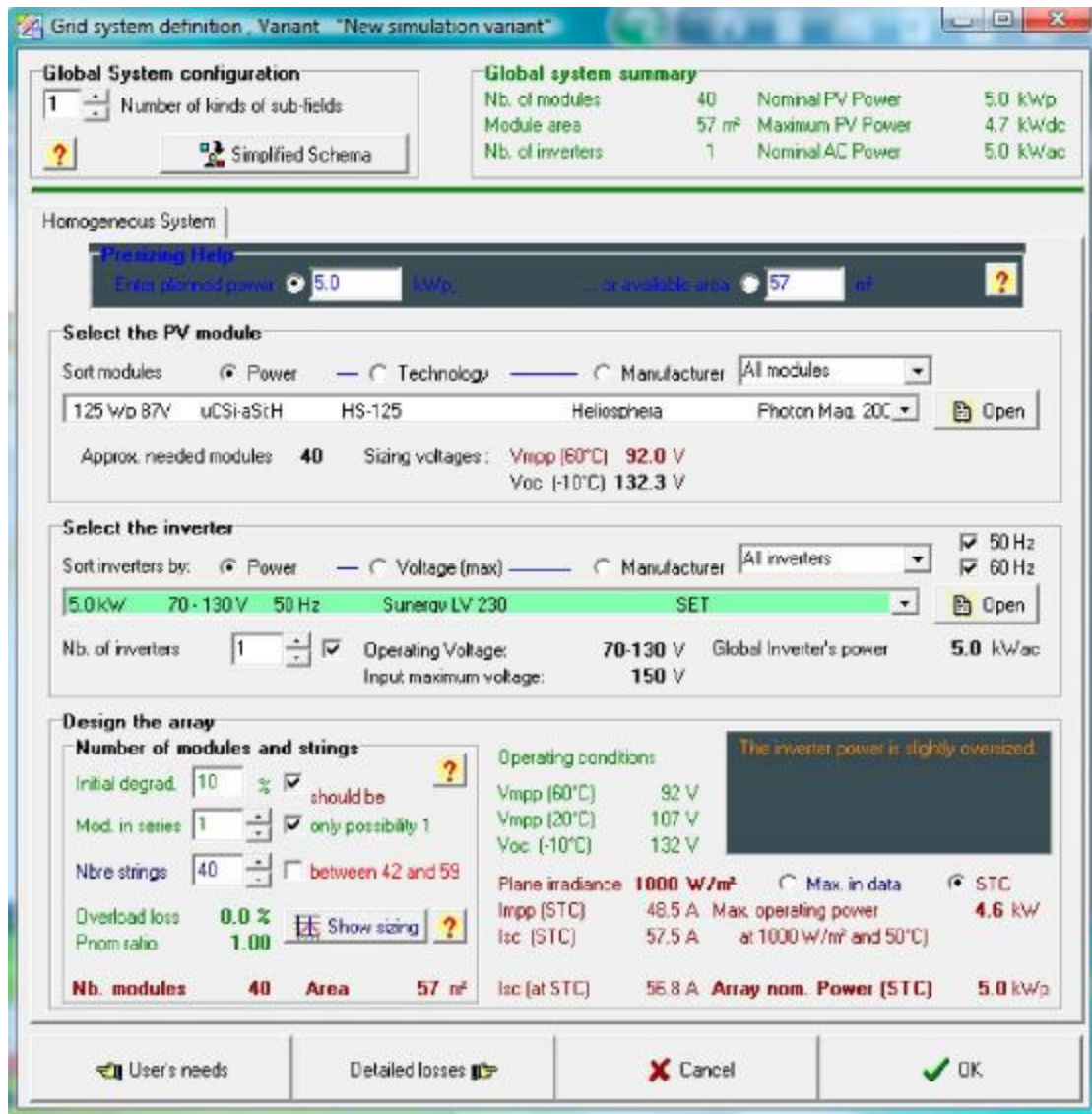
Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί με βάση τις πραγματικές συνθήκες, συνθήκες ακρίβειας, η χωροθέτηση του συστήματος και η τοποθέτηση εμποδίων στον χώρο. Κατόπιν να γίνει η σύγκριση μεταξύ του τρισδιάστατου μοντέλου και των αποτελεσμάτων της προηγούμενης απεικόνισης. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν επιλέγεται κανένα εμπόδιο.



Εικόνα(57).Πηγή: Λογισμικό PVSYS

Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα επιλογής του εξοπλισμού και τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται και οι επιλογές για το σύστημα ενδιαφέροντος που αναλύονται ως εξής,

- Ισχύς συστήματος
- Τύπος πλαισίου
- Τύπο αντιστροφέα
- Σχεδιασμός διάταξης.

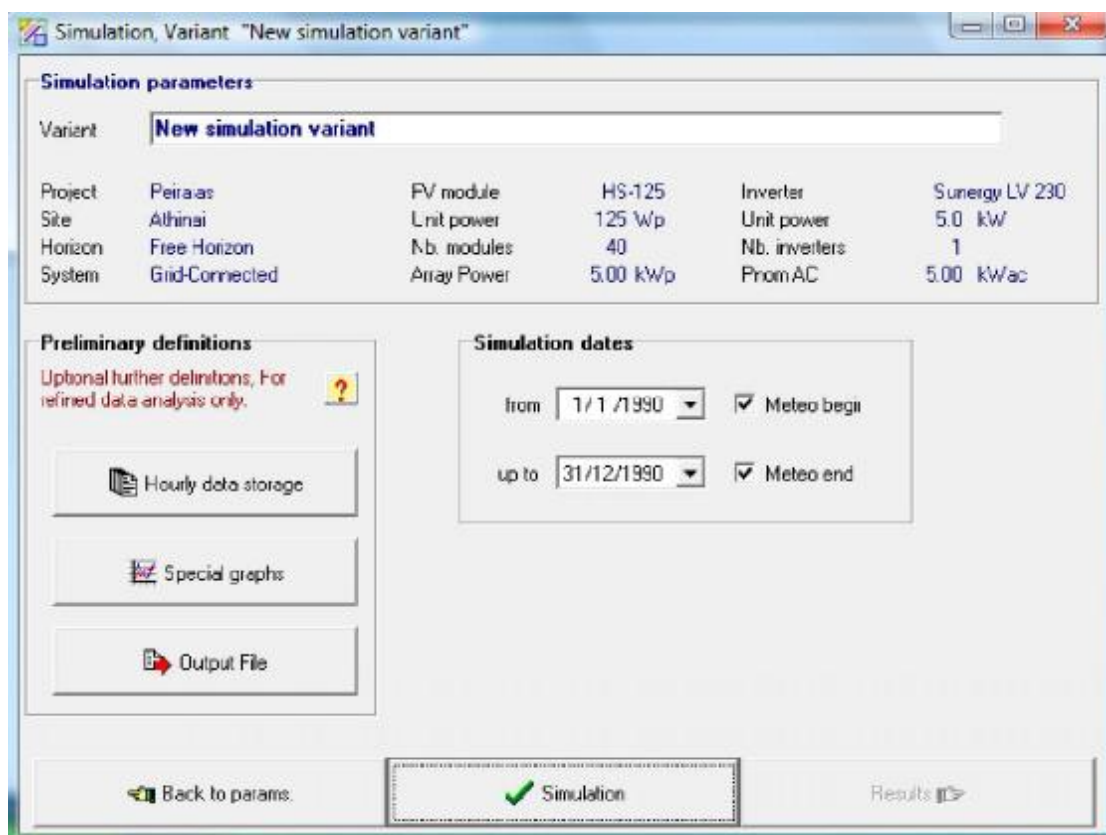


Εικόνα(58).Πηγή: Λογισμικό PVSYST

Από τα ανωτέρω οι βασικές ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες που προκύπτουν είναι οι ακόλουθες :

- Πρόκειται για ένα string, των 40 πλαισίων
- Ο Inverter, είναι ελάχιστα υπερ-διαστασιολογημένος

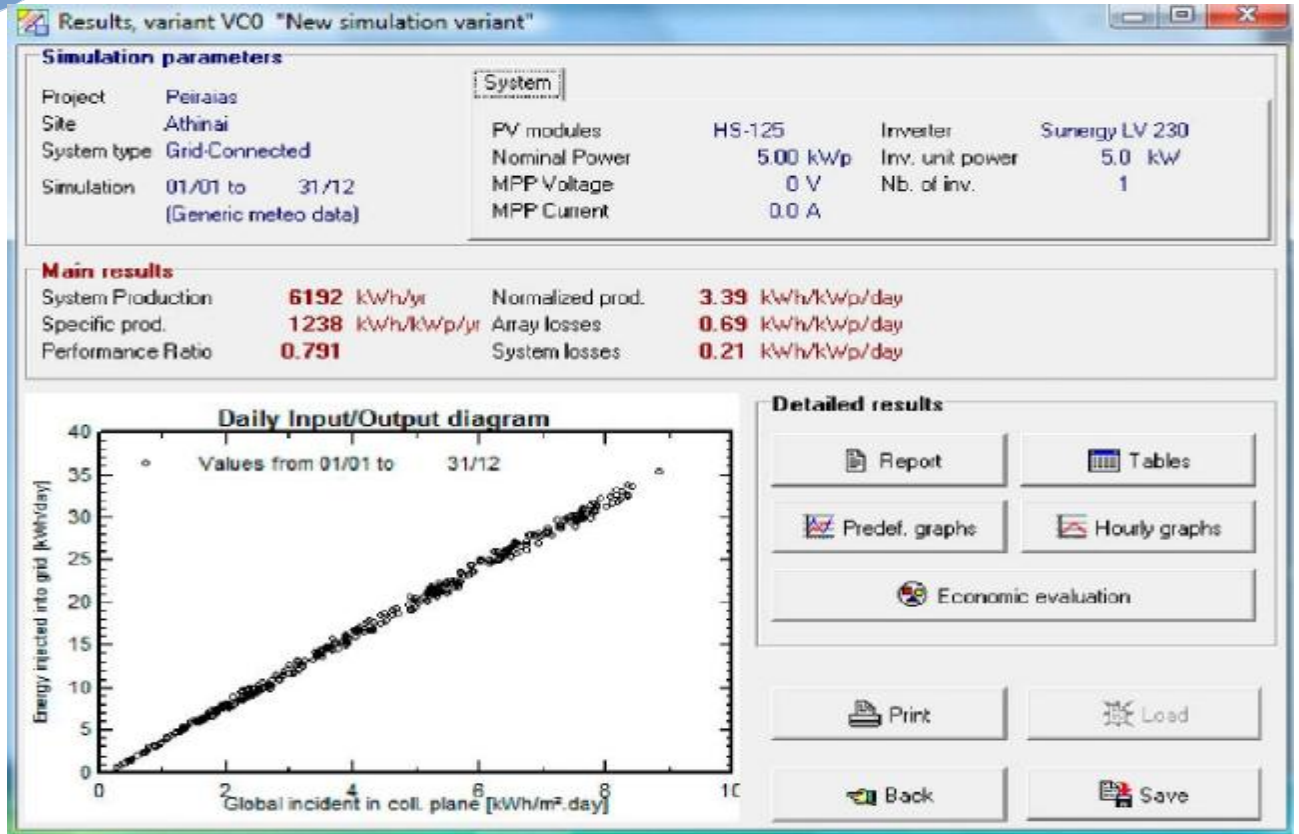
- Το σύστημα με την εισαγωγή του αντιστροφέα έχει τιμή ισχύος 4,6 kWp στο AC
- Το εμβαδόν της διάταξης είναι 57 m²
- Εναρμόνιση Inverter - πλαισίων, των χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν
- Η τάση Vmp_p, ισούται με 92 V.
- Στην επόμενη απεικόνιση επιβεβαιώνονται από τον χρήστη, τα στοιχεία του συστήματος και προσομοιώνεται το σύστημα.



Εικόνα(59).Πηγή: Λογισμικό PVSYS


Στην επόμενη απεικόνιση διαφαίνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης και τα γενικά και ειδικά ποσοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος ενδιαφέροντος αναφορικά με τις παραγόμενες kWh, σε ετήσιες και ημερήσιες τιμές.

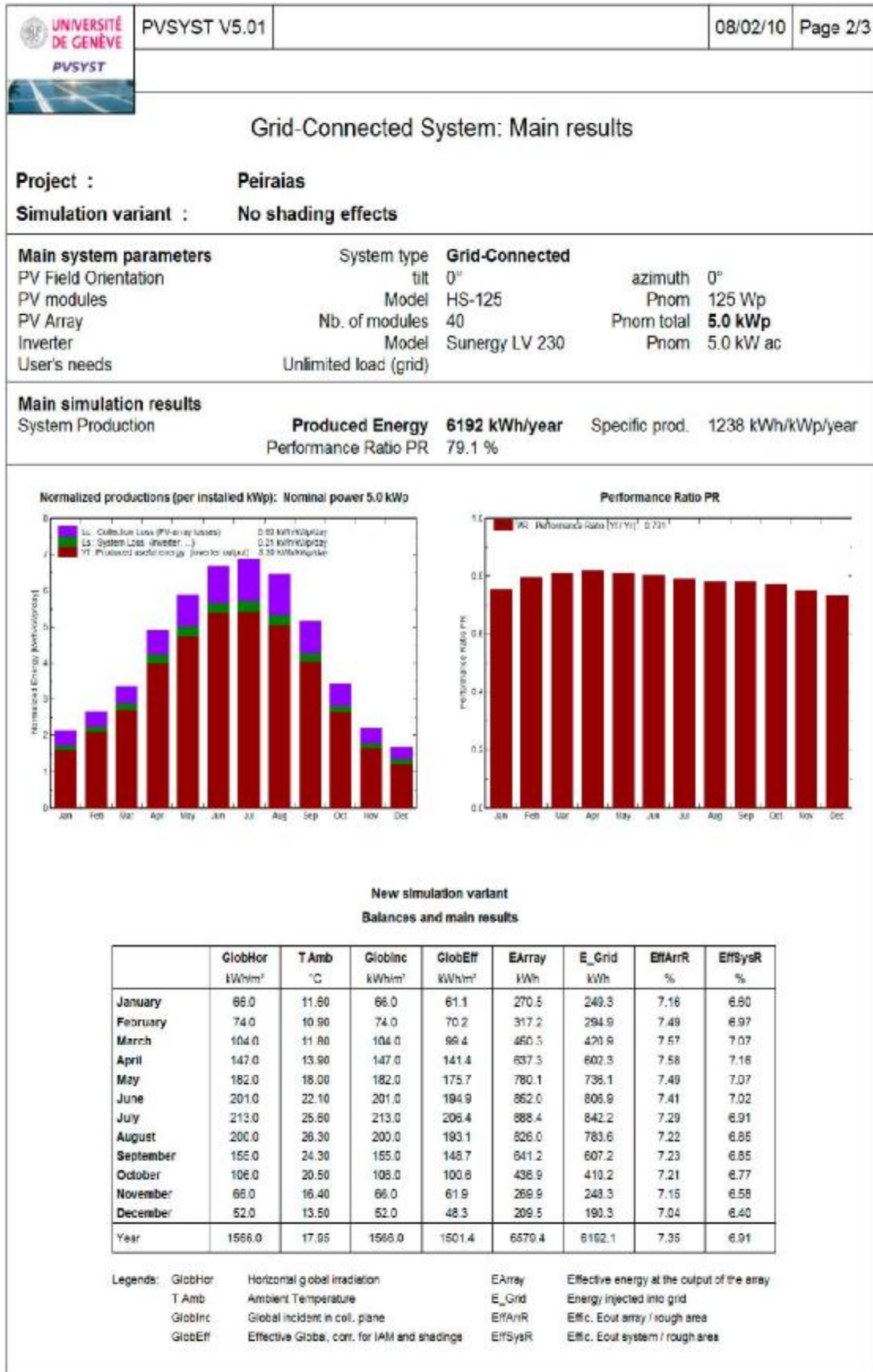
Καθώς επίσης και το σχετικό γράφημα που περιγράφει την ποσοτική έγχυση στο δίκτυο της παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος ενδιαφέροντος ανέρχεται σε **6192 kWh** ετησίως, και αφορά μόνο την **παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος**.

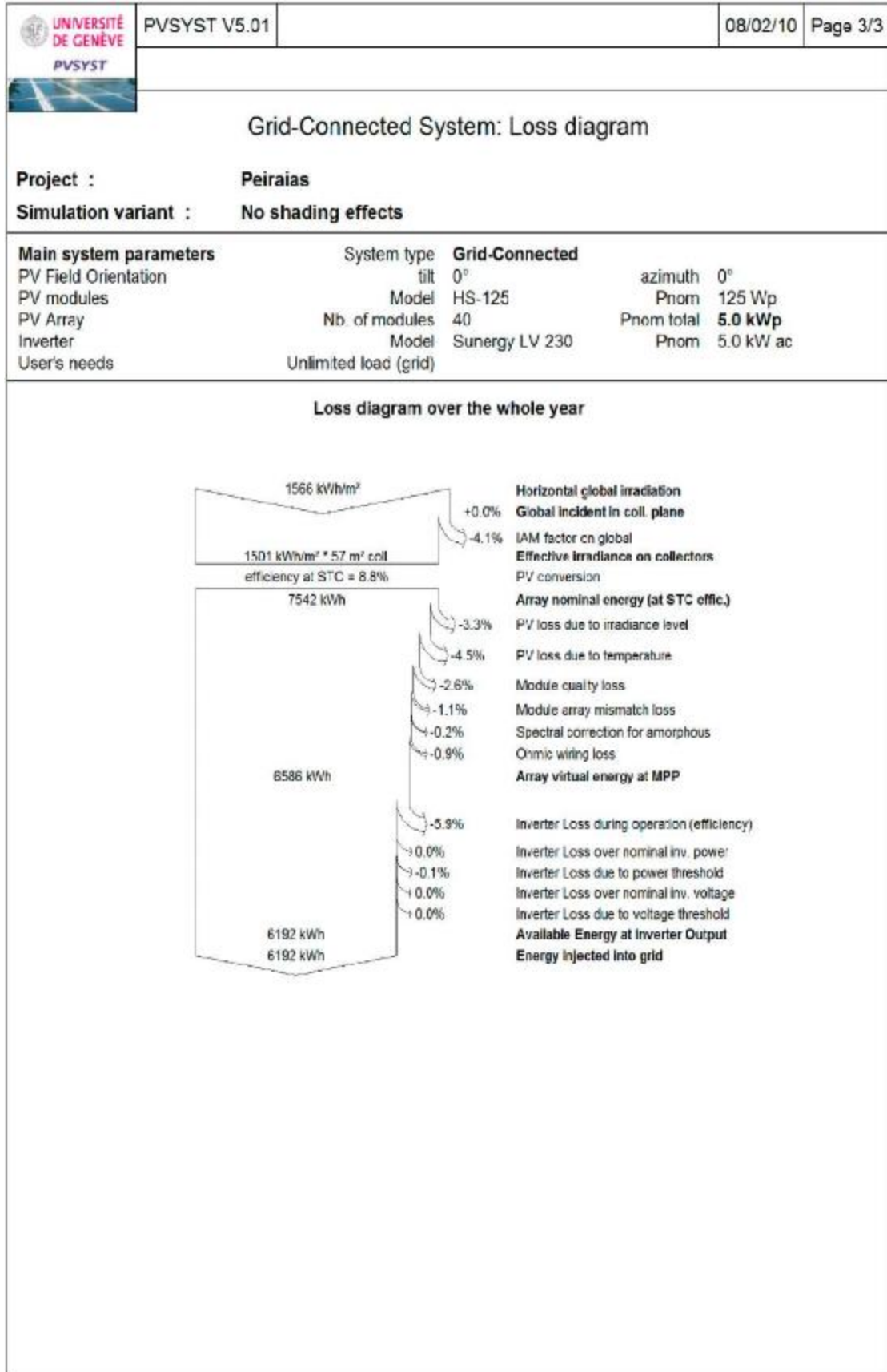


Εικόνα(60).Πηγή: Λογισμικό PVSYS

Στις επόμενες τρεις απεικονίσεις εξάγεται μία συνολική αναλυτική αναφορά για το σύστημα ενδιαφέροντος. Η εν λόγω αναφορά δείχνει με ακρίβεια τις δυνατότητες και την ανάλυση του συστήματος εγκατεστημένης ισχύος 5 kWp, πλαισίων λεπτού υμένα στην περιοχή του Πειραιά. Ένα από τα πιο αξιόλογα συμπεράσματα - γράφημα είναι το σχετικό που περιγράφει της απώλειες ανά κατηγορία και την συρρίκνωση σε ρεαλιστικούς στόχους παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

	PVSYST V5.01	08/02/10	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Peiraias		
Geographical Site	Athinaï	Country	Greece
Situation	Latitude 38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Solar Time	Altitude	107 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Athinaï, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	No shading effects		
	Simulation date 08/02/10 21h56		
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 0°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	uCSi-aSi:H	Model	HS-125
	Manufacturer	Heliosphera	
Number of PV modules	In series	1 modules	In parallel 40 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	40	Unit Nom. Power 125 Wp
Array global power	Nominal (STC)	5.0 kWp	At operating cond. 4.6 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	95 V	I mpp 49 A
Total area	Module area	57.2 m²	
Inverter	Model	Sunergy LV 230	
	Manufacturer	SET	
Characteristics	Operating Voltage	70-130 V	Unit Nom. Power 5 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m ² K	Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	45 °C	
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	32 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 0.7 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

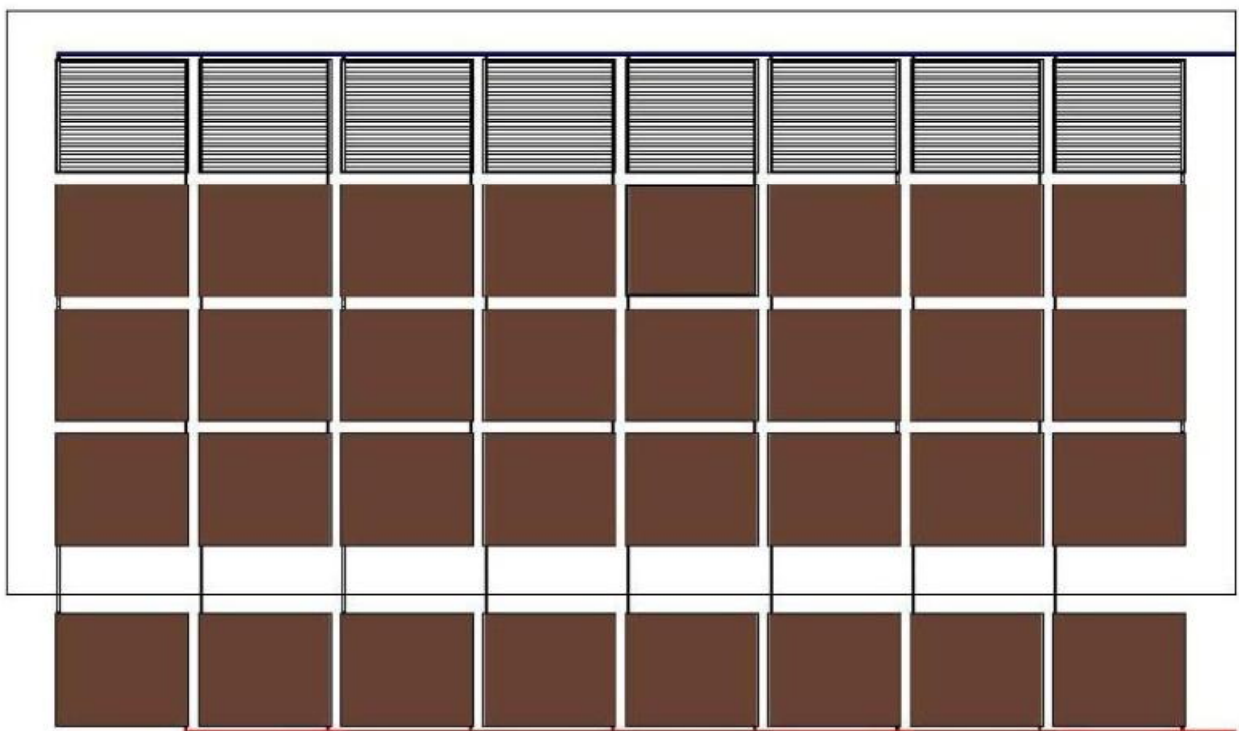




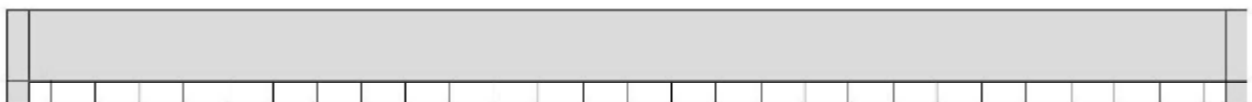
Εικόνα(61-63).Πηγή: Λογισμικό PVSYST

6.3. Σχεδιασμός με την χρήση AutoCAD

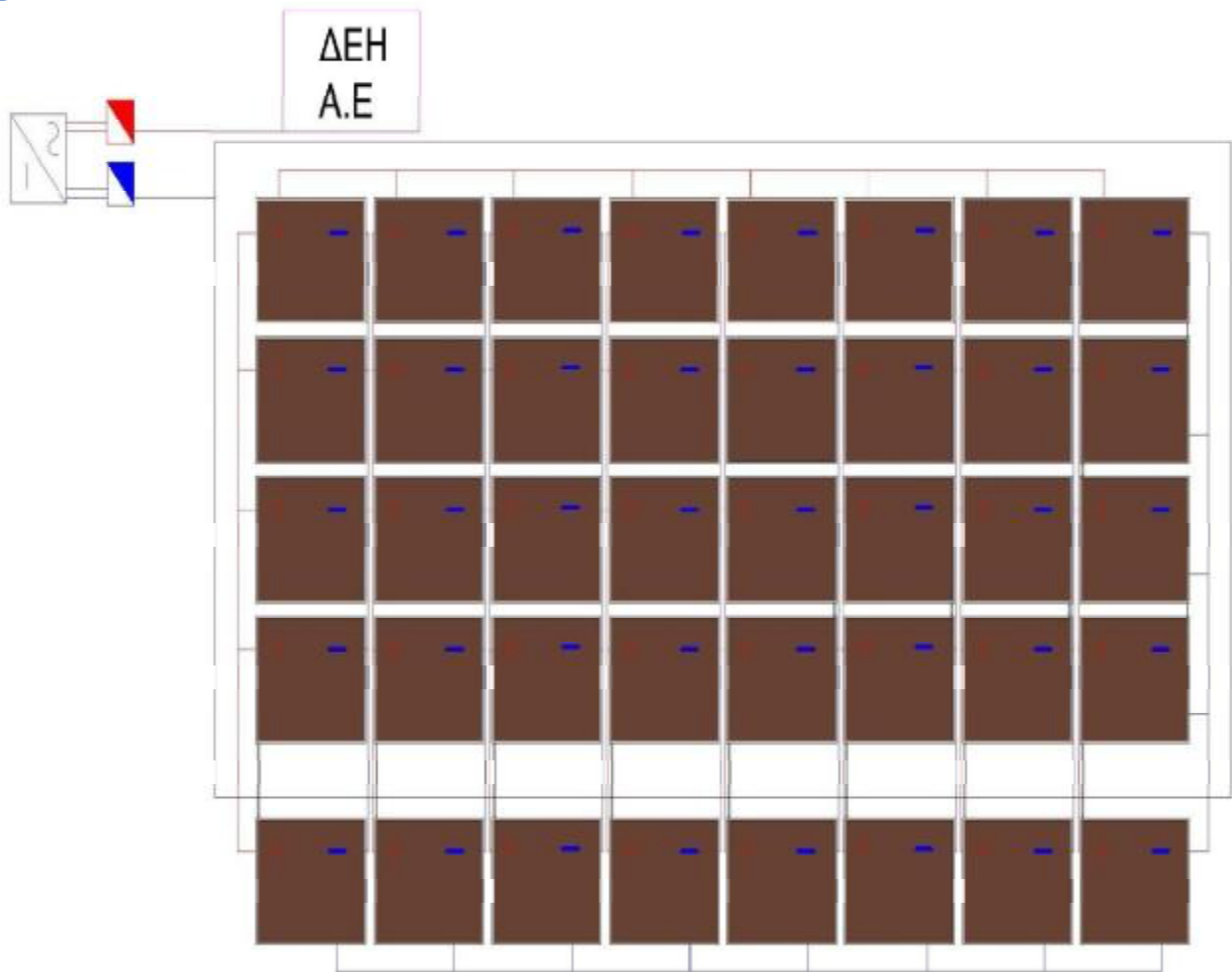
Το AutoCAD, είναι το πιο διαδεδομένο πρόγραμμα σχεδίασης, το οποίο απευθύνεται σε πλειάδα επαγγελματιών και χρησιμοποιείται για την σχεδίαση 2D, 3D και πάσης φύσεως απεικονίσεων. Λόγω του ότι είναι το πιο διαδεδομένο CAD, λογισμικό, δεν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση του.



Σχέδιο(2)-Κάτοψη του συστήματος 5kWp PV/T TFPV GR, με έμφαση στο εσωτερικό του συλλέκτη και τις σωληνώσεις



Σχέδιο(3)-Πλάγια όψη του PV/T TFPV GR, (φωτοβολταϊκό πλαίσιο και θερμικός συλλέκτης ανθρακονήματος με κανάλια)



Σχέδιο(4). Κάτοψη του συστήματος 5kWp PV/T TFPV GR, ηλεκτρολογικές συνδέσεις εν παραλλήλω.

6.4. Μαθηματική προσέγγιση PV/T TFPV- Ανάπτυξη εξισώσεων μοντελοποίησης του λογισμικού TRNSYS.

Μοντελοποίηση φωτοβολταϊκού Θερμικού συστήματος.

Τα υβριδικά PV/T συστήματα μπορεί να θεωρηθούν κατάλληλα για εγκαταστάσεις σε κτίρια που έχουν ανάγκη τόσο σε ηλεκτρική ενέργεια όσο και σε θερμική ενέργεια (κατοικίες, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, βιομηχανίες).

Για τον προσδιορισμό της πρακτικής αξίας των διαφόρων PV/T, συστημάτων είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ενεργειακής τους παραγωγής, καθώς επίσης, της βέλτιστης σχεδίασης των συστημάτων, ούτως ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες και τις απαιτήσεις, της κάθε εφαρμογής. Επίσης η κατασκευή τους θα πρέπει να αποτελεί λύση, οικονομικά συμφέρουσα τηρουμένων των αναλογιών.

Η εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής μπορεί να γίνει με εμπειρικές σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα, με διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για διάφορα κομμάτια των φ/β συστημάτων και με διάφορα προγράμματα εξομίωσης.

Για τις ανάγκες του πονήματος αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα εξομίωσης (TRNSYS) το οποίο χρησιμοποιεί τις πειραματικές σχέσεις που θα επακολουθήσουν.

Λειτουργία ενός επίπεδου PV/T συλλέκτη.

Ένας PV/T συλλέκτης, συνδυάζει τις λειτουργίες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη και τις λειτουργίες ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Η θερμική απόδοση (n_{th}) συμβατικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_{th} = Q_u/G \quad (6.4.1)$$

Όπου η χρήσιμη συλλεγμένη θερμότητα (Q_u) δίνεται από τη σχέση:

$$QU = m \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (6.4.2)$$

Οπότε από τις σχέσεις (5.4.1.) και (6.4.2) προκύπτει ότι:

$$n_{th} = m \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) / A_c \cdot G \quad (6.4.3)$$

Όπου T_i , είναι η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, T_o , είναι η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, m η ροή μάζας του ρευστού, A_c είναι η επιφάνεια του συλλέκτη, C_p η ειδική θερμότητα και G η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Εναλλακτικά η σχέση της συλλεγμένης θερμότητας (Q_u) δίνεται σαν η διαφορά ανάμεσα στην απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία και την απώλεια θερμότητας.

$$Q_u = A_c \cdot [S - UL \cdot (T_{pm} - T_a)] \quad (6.4.4)$$

Η μέση θερμοκρασία του εναλλάκτη T_{pm} στην εξίσωση (6.4.4.) είναι δύσκολο να μετρηθεί ή να υπολογισθεί, λόγω του ότι, εξαρτάται από τις ακόλουθες, παραμέτρους, τον τύπο του συλλέκτη, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και των συνθηκών εισόδου του ρευστού. Για αυτό το λόγο η σχέση αυτή αλλάζει στην ακόλουθη σχέση:

$$Q_u = A_c \cdot FR [S - UL \cdot (T_i - T_a)] \quad (6.4.5)$$

Όπου FR είναι ο παράγοντας απολαβής και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$FR = m \cdot C_p / AC \cdot UL \cdot [1 - e^{-(Ac \cdot UL \cdot F) / m \cdot C_p}]$$

Όπου F' είναι ο παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F' = 1 / (1 + (UL / hf, i)) \quad (6.4.7)$$

Όπου hf, i , είναι ο συντελεστής θερμικής συναγωγής του εργαζόμενου ρευστού και του τοιχώματος του καναλιού.

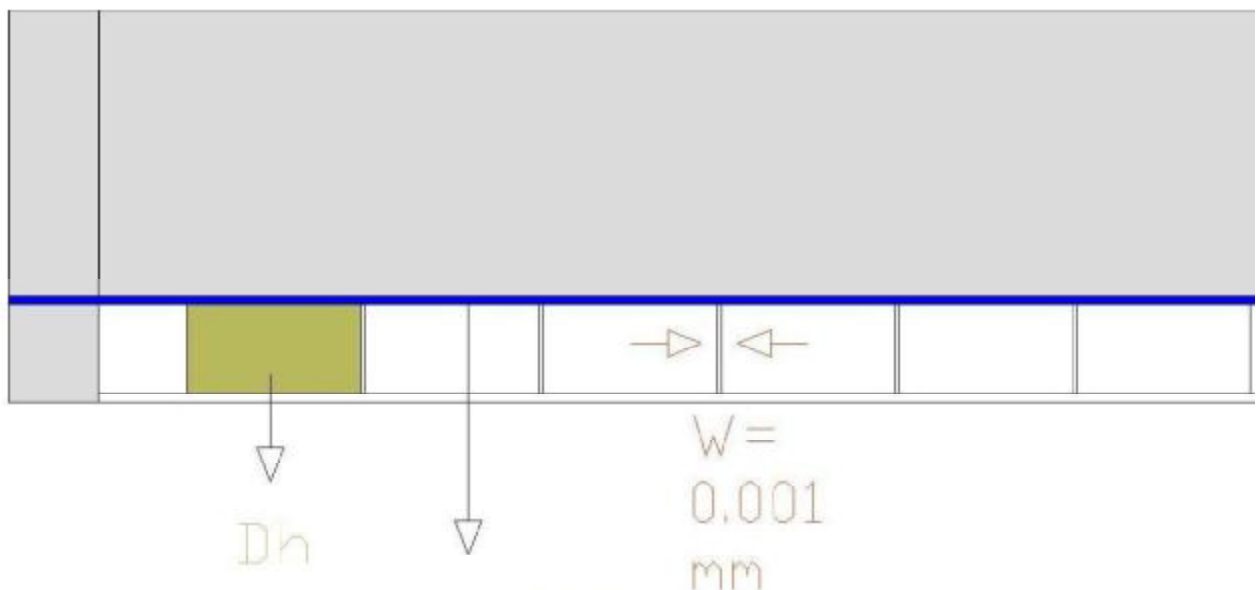
Η ροή νερού στο κανάλι ή στην σωλήνα, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$NUd = hf, i \cdot Dh / K \quad (6.4.8)$$

Όπου K , είναι η θερμική αγωγιμότητα του νερού και D_h , η υδραυλική διάμετρος του καναλιού.

Ο εναλλάκτης του μοντέλου ενδιαφέροντος έχει σχήμα, παραλληλόγραμμου που χωρίζεται σε ισόποσα κανάλια διαστάσεων 2×4 cm. Σε αυτή την περίπτωση ως διάμετρος, ορίζεται η υδραυλική διάμετρος του καναλιού και η απόσταση μεταξύ των καναλιών ισούται με το πάχος των χωρισμάτων μεταξύ των κελίων. Η σχέση δίνεται από την εξίσωση (5.4.9) όπου D_h είναι η υδραυλική διάμετρος, AC είναι το επιφάνεια του καναλιού και P η περίμετρος του.

$$Dh = 4Ac / P \quad (6.4.9)$$



**Θερμική Κόλλα
(adhesive)**

Σχέδιο(5)-Πλάγια όψη PV/T TFPV - απεικόνιση συντελεστών και του στρώματος θερμικής κόλλας.

Η απόδοση, του συλλέκτη εξαρτάται, από τον λόγο της απόστασης των σωληνώσεων, προς την διάμετρο του σωλήνα. Συνήθως γίνεται ένας συμβιβασμός μεταξύ βέλτιστης μετάδοσης θερμότητας και οικονομικής προοπτικής. Το μοντέλο που επιλέξαμε εκπληρώνει τους δύο αυτούς παράγοντες. Το νερό, πληρώνει, την πίσω πλευρά του πλαισίου σε όλο του το μήκος.

Συγχρόνως χρησιμοποιώντας το υλικό, ανθρακόνημα, (πολυκαρμπονικό) σαν, υλικό του εναλλάκτη και έχουμε ένα επιπλέον όφελος, μειώνεται το κόστος της κατασκευής του. Με την χρήση του καναλιού επιτυχαίνουμε καλύτερη μετάδοση θερμότητας και μικρή διαφορά θερμοκρασίας στο μήκος του πλαισίου.

Η δυσκολία ενός τέτοιου σχεδίου έγκειται στο σχεδιασμό του κεντρικού διανομέα ούτως ώστε να επιτευχθεί, χαμηλή πτώση πίεσης και μια ισοκατανομή ροής στα κανάλια. Η μείωση του λόγου W/D έχει δύο αποτελέσματα, πρώτον την αύξηση της απόδοσης, λόγω των περισσότερων πτερυγίων που υπάρχουν στον εναλλάκτη και δεύτερον η μείωση στην ταχύτητα της ροής του ρευστού λόγω της αυξημένης επιφάνειας.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του PV/T πλαισίου.

Η ηλεκτρική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας του. Η θερμοκρασία του, επηρεάζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, από την ταχύτητα του ανέμου αλλά και από τον τύπο της εγκατάστασης. Το πρόγραμμα εξομοίωσης TRNSYS χρησιμοποιεί το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο. Στηρίζεται, στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος,

$$T_c = T_a + G/G_{NOCT} \cdot (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \cdot (1 - n_c/\tau_a) \quad (6.4.10)$$

Όπου T_c και T_a είναι η θερμοκρασία πλαισίου και περιβάλλοντος, G είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο πλαίσιο, G_{NOCT} είναι η ακτινοβολία υπό συνθήκες «NOCT». $T_{c,NOCT}$ και $T_{a,NOCT}$ είναι η θερμοκρασία του πλαισίου και περιβάλλοντος στις συνθήκες «NOCT», n_c είναι η απόδοση μετατροπής του πλαισίου και (τ_a) , είναι ο παράγον διαπερατότητας και απορροφητικότητας του πλαισίου. Οι τιμές των $T_{c,NOCT}$, $T_{a,NOCT}$ και G_{NOCT} είναι 40 °C, 20 °C και 800 W/m².

Θεωρία των φωτοβολταϊκών.

Η ηλεκτρική απόδοση (n_{el}) ενός φ/β συστήματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_{el} = I_m \cdot V_m / G \cdot A_c \quad (6.4.11)$$

Όπου I_m , V_m το ρεύμα και η τάση για τη συνθήκη λειτουργίας του φ/β, στο σημείο μέγιστης ισχύος. Όπως έχει αναφερθεί η απόδοση ενός φ/β συστήματος περιορίζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτή η εξάρτηση της θερμοκρασίας στον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης δίνεται από τη σχέση του Zondag[20]

$$n_{el} = n_0 [1 - \beta \cdot (T - 25)] \quad (6.4.12)$$

Όπου β είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας και είναι περίπου ($\beta = 0,0045C^{-1}$) ενώ T είναι η θερμοκρασία των κελιών και n_0 είναι ο βαθμός αναφοράς.

6.5. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος με το λογισμικό TRNSYS.

6.5.1. Εισαγωγή στο TRNSYS.

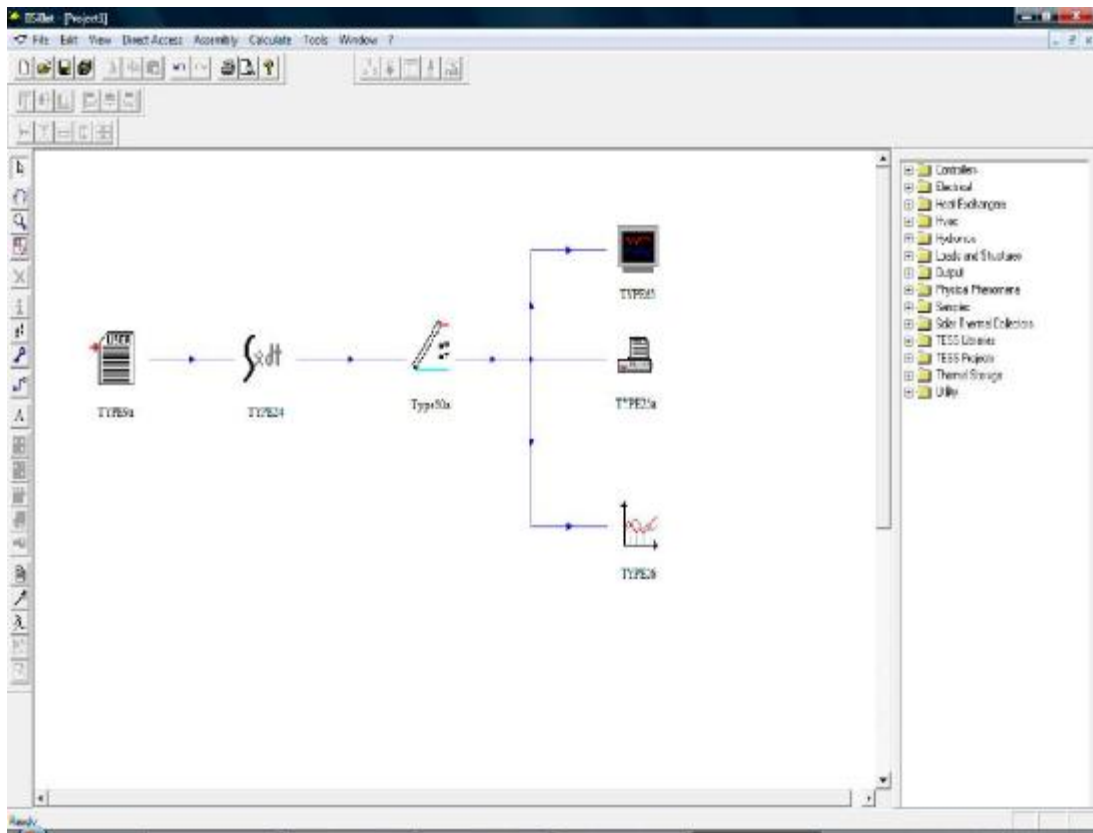
Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την αξιολόγηση των νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις, από ένα απλό σύστημα ψύξης μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού τους.

Η μεγάλη επιτυχία του οφείλεται στο ότι ο πηγαίος κώδικας, δηλαδή ο πυρήνας του προγράμματος, καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει, μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα έτσι ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι ανάγκες του χρήστη, επίσης λόγω της αρχιτεκτονικής του προγράμματος η οποία είναι βασισμένη σε αρχεία DLL, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού. Παράλληλα μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Οι εφαρμογές που περιλαμβάνονται στο TRNSYS είναι η ακόλουθη:

- Ηλιακά συστήματα
- Συστήματα ψύξης - θέρμανσης
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαραγωγή, κυψέλες καυσίμου
- Φωτοβολταϊκά/Θερμικά συστήματα

Πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι οι εφαρμογές στο TRNSYS, δημιουργούνται ενώνοντας γραφικά, τα στοιχεία, στο στούντιο προσομοίωσης. Κάθε τύπος στοιχείου περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο στη μηχανή προσομοίωσης τα οποία συνδέονται με το στούντιο προσομοίωσης μέσω των αιτήσεων. Η προφόρμα λειτουργεί σαν ένα «παράθυρο», περιγραφής ενός στοιχείου που περιέχει τα εισαγόμενα και εξαγόμενα μεγέθη και μεταβλητές.



Εικόνα(64). Στούντιο προσομοίωσης TRNSYS.

Η απόδοση ενός PV/T, συλλέκτη εξαρτάται από σχεδιαστικές παραμέτρους, από τις καιρικές και λειτουργικές συνθήκες. Επί παραδείγματι, η ένταση ακτινοβολίας, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η θερμοκρασία ρευστού.

Το μοντέλο του TRNSYS χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή, της συμπεριφοράς του θερμικού συλλέκτη και τον υπολογισμό, της θερμικής και ηλεκτρικής απόδοσης του συστήματος. Με την βοήθεια του TRNSYS, ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους του συστήματος διαμέσου ενός δυναμικού περιβάλλοντος, να διακρίνει την «αντίδραση» του μοντέλου σε αυτές τις μεταβολές.

Στο πίνακα 2, 3 και 4 διακρίνονται οι παράμετροι του μοντέλου, όπως και τα εισαγόμενα και εξαγόμενα μεγέθη, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του μοντέλου ενδιαφέροντος.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ)	
Εμβαδό Πλαισίου	57,2
Παράγοντας απόδοσης συλλέκτη	0,8
Ειδική Θερμοχωρητικότητα υγρού	4,2
Απορροφητικότητα Εναλλάκτη	0,8
Θερμικές απώλειες συλλέκτη	12,0
Διαπερατότητα	0,9
Θερμοκρασιακός Συντελεστής πλαισίου	0,37
Θερμοκρασία	25,0
Παράγοντας Κάλυψης	1

Πίνακας(2)-Παράμετροι TRNSYS

ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ

Θερμοκρασία ρευστού στην είσοδο	Μηνιαία Θερμοκρασία
Ροή ρευστού	60
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	Διάρκεια της μέρας
Προσπίπτουσα ακτινοβολία	Ημερήσια ακτινοβολία
Απόδοση Φ/Β	9%

Πίνακας(3)-Εισαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS

ΕΞΑΓΩΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ

Θερμοκρασία ρευστού στην έξοδο.
Απολαβή Θερμική ισχύς.
Απολαβή Ηλεκτρική ισχύς.
Θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου.

Πίνακας(4). Εξαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS

Μήνας	Ηλιακή ακτινοβολία kWh / m ²	θερμοκρασία αέρα (°C)	θερμοκρασία νερού (°C)
Ιανουάριος	2,06	10,30	9,30
Φεβρουάριος	2,63	10,60	9,40
Μάρτιος	3,85	12,30	10,00
Απρίλιος	5,22	15,90	12,20
Μάιος	6,2	20,70	15,30
Ιούνιος	7,03	25,20	18,70
Ιούλιος	6,92	28,00	20,80
Αύγουστος	6,2	27,80	22,70
Σεπτέμβριος	5,09	24,20	21,50
Οκτώβριος	3,4	19,50	18,50
Νοέμβριος	2,15	15,40	14,70
Δεκέμβριος	1,75	12,00	12,10
	Total 4,39		

Πίνακας(5)-Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής Περαιά.Πηγή: www.npt.gr

Ο ανωτέρω πίνακας δημιουργήθηκε από δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από το διαδικτυακό λογισμικό «PVGIS», αναφορικά με την στήλη της Ηλιακής ακτινοβολίας, και από τα δεδομένα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), λήφθηκαν τα στοιχεία της μέσης θερμοκρασίας αέρα και νερού.



1100 1960 2000 [kWh/m²]

Εικόνα(65)- PVGIS

6.5.2. Εξομοίωση – Αποτελέσματα.

Για την εκτίμηση, της πρακτικής αξίας των PV/T, που παρουσιάζονται στο παρόν πόνημα, είναι χρήσιμος ο υπολογισμός της ενεργειακής απολαβής τους ούτως ώστε να είναι δυνατή η οικονομική τους θεώρηση και σύγκριση. Η περίπτωση που εξετάζεται στην εν λόγω μελέτη, αφορά την εγκατάσταση μικρής μονάδας, εμβαδού 57 (87) m² στην περιοχή της πόλης του Πειραιά με νότιο προσανατολισμό και κλίση συσκευών ίση με 0°, τοποθετημένες στο δώμα της κατοικίας. Το σύστημα περιλαμβάνει τις PV/T συσκευές το δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού όγκου 200lt, το οποίο παραλαμβάνει με φυσική κυκλοφορία του νερού, τη θερμότητα που αποδίδουν τα PV/T πλαίσια.

Έχοντας υπολογίσει την ηλιακή ακτινοβολία και με βάση τους εμπειρικούς βαθμούς απόδοσης, υπολογίζεται η ενέργεια που παράγεται, από τα διάφορα συστήματα, τα οποία απαρτίζουν το σύστημα των 5kWp.

Τα ετήσια αποτελέσματα αφορούν την αποδιδόμενη, για τελική χρήση, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια για τον υπολογισμό της οποίας, έχει συμπεριληφθεί, ρεαλιστική μείωση,

της αποδιδόμενης ενέργειας τόσο στο ηλεκτρικό φορτίο (απώλειες αντιστροφή DC/AC, κ.λ.π) όσο και στο θερμικό φορτίο. (απώλειες σωλήνων, εναλλάκτη θερμότητας, κ.λ.π) εκτιμώντας των συντελεστή απωλειών στο ποσοστό του 10% και 30% για τις δύο ενεργειακές μορφές.

Αποτελέσματα TRNSYS

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)
Ιανουάριος	1994,53	398,22
Φεβρουάριος	2104,65	410,57
Μάρτιος	3169,90	597,52
Απρίλιος	3843,19	706,28
Μάιος	4694,30	797,24
Ιούνιος	5079,26	836,59
Ιούλιος	5277,73	868,65
Αύγουστος	4750,42	844,99
Σεπτέμβριος	3949,12	759,89
Οκτώβριος	2931,82	582,05
Νοέμβριος	1939,91	390,06
Δεκέμβριος	1611,87	343,91
	4134,6	7535,98

Πίνακας(6)-Μηνιαίες τιμές παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας PV/T TFPV 5 kW (TRNSYS)

6.5.3. Απόδοση PV-T

Η ακριβής, σωστή αποτύπωση, και υπολογισμός της απόδοσης του PV-T συστήματος, αποτελεί σημαντικό βήμα για την ορθότητα της απόδοσης του τελικού αποτελέσματος. Βασική παράμετρος αποτελεί, η διαφορετική κατηγορία ισχύος που δημιουργείται από το σύστημα. Για τον λόγο, αυτό πρέπει να υπολογισθεί με σφαιρικό και ρεαλιστικό τρόπο, επιστημονικώς ορθό ο υπολογισμός της τελικής αποδόσεως, της ηλεκτρικής και θερμικής απόδοσης.

Για τον υπολογισμό του συνόλου των ανωτέρω μορφών ενέργειας, καταγράφονται στην βιβλιογραφία 3 μέθοδοι που συσχετίζουν και συνδυάζουν τις τιμές της ηλεκτρικής και θερμικής απόδοσης, που παρατίθενται ακολούθως,

α. Απευθείας, αθροιστικό αποτέλεσμα των δύο αποδόσεων (θερμικής και ηλεκτρικής)

β. Υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας(ενέργεια που χρειάζεται από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες παραγωγής)

γ. Τρίτον υπολογίζοντας την «εξέργεια» του συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται και αποδίδονται υπολογιστικά όλες οι μέθοδοι ούτως ώστε να υπάρξει, η δυνατότητα συγκρίσεων με άλλα μοντέλα ερευνητών.

(α) Απευθείας, αθροιστικό αποτέλεσμα των δύο αποδόσεων.

Η εν λόγω μέθοδος εγείρει πολλά ερωτήματα γύρω από την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, αν και καταγράφεται στην βιβλιογραφία[24], ωστόσο ο υπολογισμός δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\eta_0 = \eta_t + \eta_e \quad (6.5.3.1)$$

Όπου η_t και η_e , θερμική και η ηλεκτρική απόδοση αντίστοιχα.

(β) Υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι αυξημένης ποιότητας ενέργεια εν συγκρίσει με την θερμική. (Huang 1999). Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$Ef = \eta_t + \eta_e / \eta_{power} \quad (6.5.3.2)$$

Όπου η_{power} , κατά κόρον λαμβάνει την τιμή 38%, τιμή της ηλεκτρικής απόδοσης ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού.

Ενώ η ισοδύναμη πρωτογενής ηλεκτρική, ενέργεια από φωτοβολταϊκά, μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με την ακόλουθη μετρική σχέση:

Ισοδύναμο θερμικό καύσιμο σε όρους πρωτογενούς ενέργειας (kWh) =

(παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από PV (1 kWh)) / (μέση απόδοση συμβατικής θερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής).

Στην εν λόγω μέθοδο, το ισοδύναμο πρωτογενούς ενέργειας, από ανανεώσιμες πηγές (ηλεκτροπαραγωγή) εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες. Ο υπολογισμός της ισοδύναμης απαιτητής ενέργειας υπολογίζεται σύμφωνα με την μέση απόδοση θερμοηλεκτρικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, που είναι 38%.

Επί του πρακτέου, η αναλογία ανέρχεται σε 1 προς 3. Οι ανωτέρω εξισώσεις ισχύουν όταν οι επιφάνειες των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ίδιου εμβαδού με την επιφάνεια του απορροφητή.

Υπολογισμός απόδοσης της «ενέργειας» του PV-T, συλλέκτη.

Οι πιο σημαντικές παράμετροι, για τον υπολογισμό των ενεργειών, της φωτοβολταϊκής κυψέλης και του ηλιακού συλλέκτη, είναι η ηλεκτρική και η θερμική απόδοση. Ωστόσο η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια του υβριδικού συστήματος δεν είναι ίδια στην φύση.

Η θερμική ενέργεια δεν μπορεί να παράγει έργο, μέχρις ότου, υπάρξει μία θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT), ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράγει έργο ανεξάρτητα από την κατάσταση του περιβάλλοντος, στο οποίο λαμβάνει χώρα η εν λόγω διεργασία. Η χρήση του μεγέθους, «ενέργεια», μπορεί να πολιτικοποιήσει, και να επιτρέψει την σύγκριση μεταξύ των δύο μεγεθών. (Fujisawa και Tani 1997).

(c) Ενέργεια

Ορίζεται ως το προϊόν αντιστρεπτών και μη-αντιστρεπτών διεργασιών. Όλες οι ενέργειες που μπορούν να μετατραπούν, χωρίς περιορισμό και των οποίων η μετατροπή σε κάθε άλλη μορφή ενέργειας, επιτρέπεται σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα. (Baehr 2002)

- **Ηλεκτρική ενέργεια**, η ηλεκτρική ενέργεια είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες περιβάλλοντος, και δια αυτό τον λόγο είναι ισοδύναμη (ενεργειακά), με το έργο που παράγεται. Για ηλιακή ακτινοβολία E , η ενεργητική απόδοση της κυψέλης n_{ele} , ισούται με την απόδοση ενέργειας της φωτοβολταϊκής κυψέλης, κατόπιν τούτου, η ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται ως εξής:

$$e_{ele} = n_{ele} \cdot E = \xi_{ele} \cdot E$$

- **Θερμική ενέργεια**, για να μετατραπεί η θερμική ενέργεια σε έργο, θα πρέπει όπως προαναφέρθηκε να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT), μεταξύ μίας πηγής θερμότητας και ενός απαγωγέα. Το μέγεθος της τιμής της μετατροπής, περιορίζεται από την απόδοση της θερμικής μηχανής Carnot, και περιγράφεται από την σχέση :

$$\eta_c = T_1 - T_0 / T_1 = 1 - T_0 / T_1 ,$$

όπου T_0 , T_1 , είναι οι απόλυτες θερμοκρασίες του απορροφητήρα και τις πηγής αντίστοιχα, και η ενέργεια σχετίζεται και περιγράφεται ως εξής:

$$e_{th} = \eta_c \cdot Q_{th} = \eta_c \cdot n_{th} \cdot E = \xi_{th} = \xi_{th} \cdot E$$

Όπου n_{th} , ξ_{th} είναι οι αποδόσεις ενέργειας.

Η ορθή προσέγγιση προϋποθέτει ως απαραίτητο στοιχείο την διασταύρωση των στοιχείων και με γνώμονα τα ανωτέρω υπολογίστηκαν και με τους τρεις τρόπους οι αποδόσεις του εν λόγω συστήματος οι οποίες παρατίθενται ακολούθως:

- **Σύνθεση ενέργειας(PV/T συλλέκτη)**

Η ενέργεια του συστήματος PV/T collector, είναι το άθροισμα της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και περιγράφεται ως εξής:

$$e_{PV/T} = e_{th} + e_{ele} = (\xi_{th} + \xi_{ele}) \cdot E = \xi_{PV/T} \cdot E, \text{ όπου}$$

$\xi_{PV/T} = \eta_{ele} + \eta_v \cdot \eta_{th}$ όπου, $\xi_{PV/T}$, η απόδοση ενέργειας του PV/T συλλέκτη.

Η ορθή προσέγγιση προϋποθέτει ως απαραίτητο στοιχείο την διασταύρωση των στοιχείων και με γνώμονα τα ανωτέρω υπολογίστηκαν και με τους τρεις τρόπους οι αποδόσεις του εν λόγω συστήματος οι οποίες παρατίθενται ακολούθως:

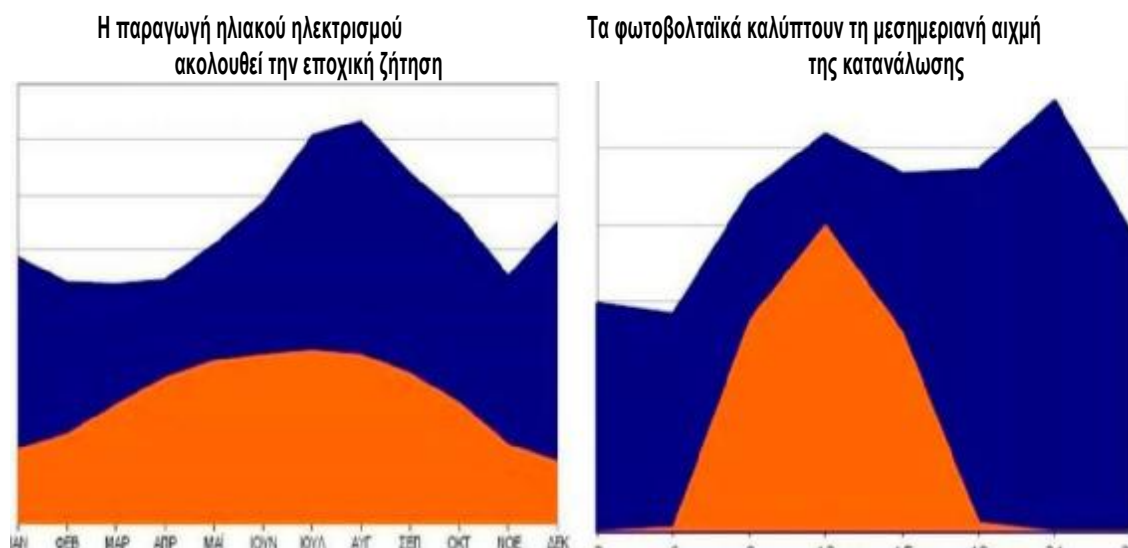
ΑΠΟΔΟΣΗ (%) PV/T TFPV 5kWp			
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ (a)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (b)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (c)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	44,10	36,37	34,43
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	45,55	37,72	27,59
ΜΑΡΤΙΟΣ	47,05	39,19	35,86
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	48,00	40,15	29,26
ΜΑΪΟΣ	51,48	43,60	28,78
ΙΟΥΝΙΟΣ	52,87	44,10	26,30
ΙΟΥΛΙΟΣ	52,96	45,07	24,24
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	49,50	41,62	20,63
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	46,44	38,55	20,13
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	44,98	37,14	17,50
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	44,63	57,46	21,32
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	41,90	54,54	30,09
Πίνακας(7)-Αθροιστικό αποδόσεων PV/T TFPV 5kWp			

6.5.4. Απαίτηση σε ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια να υπολογισθούν, οι ανάγκες μίας τετραμελούς οικογένειας σε θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο, ούτως ώστε να υπάρξει και μία ρεαλιστική προσέγγιση, στο κατά πόσο θα μπορούσε, το σύστημα PV/T TFPV 5kWp να συνεισφέρει είτε να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες, και σε πιο βαθμό.

Κατά απόλυτη πλειοψηφία, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, βοηθώντας την εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου, για την αποφυγή γενικής διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης, στη μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής δεδομένου ότι η κάλυψη ζήτησης φορτίου αιχμής αποτελεί υπέρμετρα δαπανηρή λύση.

Από τα ακόλουθα σχήματα φαίνεται ότι τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της μεσημεριανής αιχμής, ενώ και η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί κατά κύριο λόγο την εποχική ζήτηση.



• ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

• ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τετραμελούς οικογένειας.

Ο υπολογισμός των αναγκών, σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος και πιο αξιόπιστος τρόπος είναι αθροίζοντας την κατανάλωση από τα τιμολόγια της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε. και ο δεύτερος, καταγράφοντας τις συσκευές και τις καταναλώσεις για το χρονικό διάστημα ενός έτους.

Ο δεύτερος τρόπος οδηγεί σε σχετικό σφάλμα, λόγω του ότι δεν μπορεί με ακρίβεια κάποιος να υπολογίσει όλα τα φορτία και την συχνότητα χρήσης με ακρίβεια. Στην παρούσα εργασία παρατίθενται και οι δύο τρόποι.

Υπολογισμός με βάση τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε

Στην Ελλάδα, τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε., εκδίδονται κάθε 4 μήνες και οι αντίστοιχες περιόδους, είναι οι εξής, Ιανουαρίου-Απριλίου, Μαΐου-Αυγούστου και Σεπτεμβρίου-Δεκεμβρίου.

Χρονικά διαστήματα	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)
Ιανουάριος - Απρίλιος	3.332 / 4 άτομα = 833 / άτομο
Μάιος - Αύγουστος	2.052 / 4 άτομα = 513 / άτομο
Σεπτέμβριος - Δεκέμβριος	2.932 / 4 άτομα = 733 / άτομο
Σύνολο	8.316 / 4 άτομα = 2.079 / άτομο(1)

Πίνακας(8) Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε.

Συσκευές	CONSUMPTION (kWh)	WAY OF CALCULATION
Ψυγείο	550 kWh / έτος	24 ώρες/ημέρα
Πλυντήριο Πιάτων	292 kWh / έτος	1 WASH / ανά ημέρα - 0.8 kWh/πλύση
Ηλεκτρική κουζίνα	790 kWh/ έτος	THE WAY OF COOKING CONSUMES 16,46 kWh / εβδομάδα
Φωτισμός	96,36 kWh /έτος	12 LAMPS X 11 WATTS X περίπου 2 ώρες
Τηλεόραση	87,6 kWh / έτος	3 TELEVISIONS X 40W X 2 ώρες
DVD	5,76 kWh / έτος	2 TIMES PER WEEK X 30W X 2ώρες
Η/Υ	1642,5 kWh / έτος	3 COMPUTERS X 250W X 6 ώρες
Ηλεκτρική Σκούπα	284 kWh / έτος	1000W X 8 HOURS /εβδομάδα
A/C	1.080 kWh /έτος	Μόνο καλοκαίρι, 6 ώρες / ημέρα - ^w/ώρα
Πλυντήριο	72 kWh / έτος	0,5 Kw X 3 ώρες/ εβδομάδα
Άλλες συσκευές	2.190 kWh /έτος	1000W X 6 ώρες
Σύνολο	7090 kWh / έτος	

Πίνακας(9). Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις συσκευές.

Στα ανωτέρω, δεν περιλαμβάνεται η ηλεκτρική κατανάλωση για τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα.

Υπολογισμός θερμικής ενέργειας για ZNX, τετραμελούς οικογένειας.

Ο υπολογισμός της απαιτητής θερμικής ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης (ZNX), πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την θεώρηση, ότι κάθε άτομο χρειάζεται, 50lt ζεστού νερού για να καλύψει τις προσωπικές, πραγματικές του ανάγκες ανά ημέρα. Η απαιτητή θερμοκρασία

θα πρέπει να αγγίζει τους 60 °C για υγειονομικούς κυρίως λόγους . Για 4 άτομα η απαιτητή θερμική ενέργεια για την κάλυψη σε ζεστό νερό είναι 200 lt.

Γνωρίζοντας την ειδική θερμότητα του νερού και την θερμοκρασιακή ανύψωση (από την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη ως τους 60 °C), και θεωρώντας ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι $\eta = 0,7$ υπολογίζεται, η θερμότητα που καταναλώνεται για την θέρμανση του νερού στους 60 °C .

Ως θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη λήφθηκε η μέση θερμοκρασία του νερού ανά ημέρα. Τα αποτελέσματα της θερμότητας που καταναλώνεται ανά μήνα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ °C	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ (Q)	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh) ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝ Α $\eta=0.7$
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9,3	42588	11,83	366.73	523.90
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	9,4	42504	11,81	330.59	427.27
ΜΑΡΤΙΟΣ	10	42000	11,67	361.67	516.67
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	12,2	40152	11,15	334.60	478.00
ΜΑΙΟΣ	15,3	37548	10,43	323.33	461.90
ΙΟΥΝΙΟΣ	18,7	34692	9,64	289.10	413.00
ΙΟΥΛΙΟΣ	20,8	32928	9,15	283.55	405.07
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	22,7	31332	8,70	269.80	385.43
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,5	32340	8,98	269.50	385.00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	18,5	34860	9,68	300.18	428.83
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	14,7	38052	10,57	317.10	453.00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12,1	40236	11,18	346.48	494.97
				ΣΥΝΟΛΟ	5418,03

Πίνακας(10).Απαραίτητη θερμική ενέργεια για ZNX μιας τετραμελούς οικογένειας.

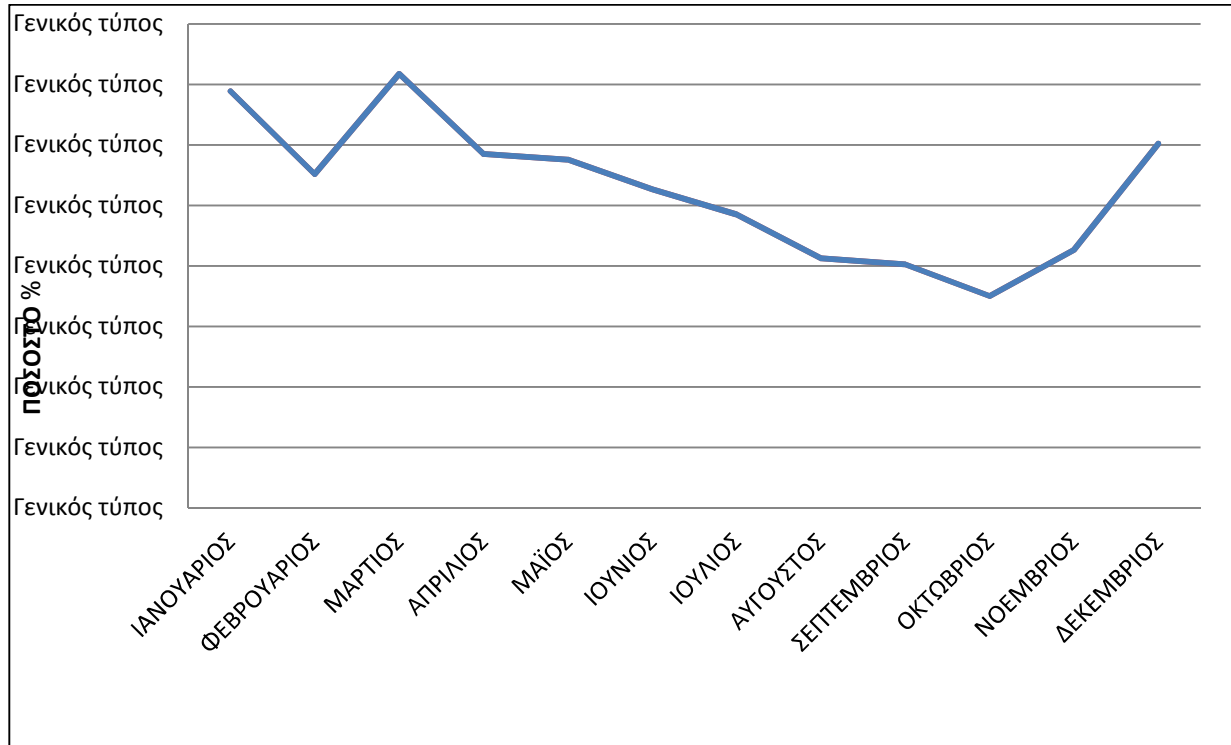
Πηγή: www.npt.gr

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ °C	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ (Q)	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60° C(KWh) ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝ Α n=0.7
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	35	21000	5,83	163,33	233,33
ΜΑΡΤΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΜΑΙΟΣ	45	12600	3,50	180,50	155,00
ΙΟΥΝΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΙΟΥΛΙΟΣ	45	12600	3,50	108,50	155,00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	45	12600	3,50	108,50	155,00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	175,00	250,00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
				ΣΥΝΟΛΟ	2431,67

Πίνακας(11).Απαραίτητη θερμική ενέργεια για ZNX μιας τετραμελούς οικογένειας με την χρήση PV/T TFPV 5kWp στην περιοχή Πειραιά.

Ποσοστιαία συμμετοχή PV/T στο θερμικό ισοζύγιο.

Τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα του TRNSYS, θα αναλυθούν στα συμπεράσματα, του παρόντος πονήματος, ωστόσο παρατίθεται ένα διάγραμμα το οποίο εμφανίζει την ποσοστιαία κάλυψη του PV/T TFPV, στο θερμικό ισοζύγιο.



Γράφημα(6).Ποσοστιαία κάλυψη PV/T TFPV 5kWp

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.

Στην Ελλάδα λόγω της υψηλής παραβατικότητας σε πολεοδομικούς όρους, η εγκατάσταση οικιακών διασυνδεδεμένων συστημάτων, δεν έχει ξεκινήσει με τους καλύτερους οιωνούς, σύμφωνα με τα στοιχεία του υπουργείου ενέργειας και τις ΔΕΗ Α.Ε, μέχρι τον Νοέμβριο του 2010, είχαν πραγματοποιηθεί μόλις 6 συνδέσεις οικιακών και είχαν κατατεθεί περί τις 40 αιτήσεις. Με βάση το feed in tariff, που ισούται με 0,55 €/kWh, θα έπρεπε να υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Ωστόσο με βάση τις πολεοδομικές παραβάσεις, που υπάρχουν σε σχεδόν κάθε οικία, δημιουργείται ένας αρκετά σημαντικός, ανασταλτικός παράγοντας, λόγω του ότι για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτείται, λήψη άδειαςεργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία.

Ένας επίσης ανασταλτικός παράγοντας είναι η ελλιπής ενημέρωση προς τους πολίτες σχετικά με την αποδοτικότητα και τα κόστη ενός τέτοιου εγχειρήματος. Αξιομνημόνευτη βέβαια είναι και η οικονομική κρίση που μαστίζει την υφήλιο, καθιστώντας την Ελλάδα αρκετά αδύναμη οικονομικά λόγω των υψηλών ελλειμμάτων που δημιουργήθηκαν και συσσωρεύτηκαν από το παρελθόν έως και σήμερα από λανθασμένες πολιτικές, σκόπιμα ή μη.

Λόγω των προαναφερθέντων υπάρχει ανασφάλεια από πλευράς πολιτών για το κατά πόσο θα συρρικνωθεί το εισόδημα τους και κατά πόσο θα μπορούσαν να εξασφαλίσουν τα προς το ζην, γεγονός που αποτελεί τροχοπέδη για τέτοιου είδους επενδύσεις.

7.1. Τεχνική περιγραφή - Οικονομοτεχνική προσέγγιση Τεχνική

Περιγραφή έργου.

(1) Διαμόρφωση χώρου

1.α. Έργα διαμόρφωσης δώματος : Για την εγκατάσταση θα γίνουν έργα διαμόρφωσης τα οποία θα περιλαμβάνουν, την μείωση του ύψους του στηθαίου σε 0,5 m, μεταφορά λέβητα και δεξαμενής πετρελαίου κεντρικής θέρμανσης, μόνωση και στατική μελέτη από πολιτικό μηχανικό. Επίσης θα γίνουν εργασίες δημιουργίας μεγαλύτερης διατομής υδρορροών, για την αποφυγή κατακράτησης ύδατος στο δώμα.

1.β. Δημιουργία φρεατίων : Για την κατασκευή της γείωσης η οποία θα συνδεθεί με την κεντρική γείωση της οικίας, και τις ηλεκτρολογικές συνδέσεις μεταξύ πλαισίων, αντιστροφέα και υποπινάκων DC,AC θα γίνουν εργασίες δημιουργίας φρεατίων διαστάσεων 5 cm βάθος και 5 cm πλάτος. Δημιουργία βάσης στήριξης από γαλβανισμένο σίδηρο, για την στήριξη του μετρητή παραγωγής.

(2) Εξοπλισμός

2.α. Ύψος εγκατεστημένου συστήματος : Συνολικά το ύψος της εγκατάστασης (βάση και πλαίσιο μαζί) δεν ξεπερνά το 1,5 m

2.β. Φωτοβολταϊκά πλαίσια : θα τοποθετηθούν 40 φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευασμένα από την εταιρεία Heliosphera, ισχύος 125W, τύπου HS-125. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι εγκατεστημένα σε μία ενιαία βάση η οποία θα έχει ύψος 0,5m. Τα πλαίσια θα είναι συνδεδεμένα όλα με παράλληλη σύνδεση. Το συνολικό εμβαδόν των φωτοβολταϊκών πλαισίων, σε οριζόντια θέση, είναι 57 m², οπότε η κάλυψη του δώματος εγκατάστασης είναι πολύ μικρότερη από το 90%.

2.γ. Αντιστροφείς: Θα εγκατασταθεί ένας (1) Αντιστροφέας (Inverter) μονοφασικός, τύπου ο οποίος θα είναι κατασκευασμένος από την εταιρεία SUNENERGY LV-230, χαμηλού Voltage, ισχύος 5kWp.

2.δ. Βάσεις : Τα πλαίσια θα είναι κατανεμημένα σε μία (1) συστοιχία πρόσδεσης σταθερού τύπου. Η γωνία κλίσης ως προς τον οριζόντα θα αγγίζει τις 0°. Οι αποστάσεις μεταξύ των πλαισίων θα είναι 2 cm για να μην δημιουργούνται προβλήματα σκίασης, μεταξύ των πλαισίων. Επίσης θα τοποθετηθεί μία σειρά πλαισίων, ως σκέπαστρο έξω από το στηθαίο με μέτρα αντιστήριξης, επίσης σε οριζόντια θέση. Οι βάσεις θα στηριχθούν με την χρήση σκυροδέματος, σύμφωνα με τις οδηγίες του πολιτικού μηχανικού.

(3) Ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις θα γίνουν από συνεργείο Ηλεκτρολόγων - εγκαταστατών σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD384, και οι υδραυλικές εγκαταστάσεις θα εποπτεύονται από εγκαταστάτη πεπειραμένο στα PV/T. Θα εγκατασταθεί υδραυλικό δίκτυο από το υφιστάμενο δίκτυο, το οποίο θα συνδεθεί με το πίσω μέρος του PV/T, στις αναμονές των συσκευών.

(4) Συντήρηση και τεχνική υποστήριξη

Το σύστημα δεν χρειάζεται προγραμματισμένη συντήρηση. Θα υπογραφεί μετά την υλοποίηση, συμφωνητικό συντήρησης με την εταιρεία εγκατάστασης, για ετήσια συντήρηση του συστήματος. Θα υπάρχει άμεση τεχνική υποστήριξη από την εγκαταστάτρια, εταιρεία και το δίκτυο των συνεργατών της. Το σύστημα θα συνδέεται μέσω modem με server της εταιρείας, για καταγραφή, παρακολούθηση όλων των παραμέτρων και με δυνατότητα απομακρυσμένων ρυθμίσεων. Με την παράδοση του έργου θα παραληφθούν, αναλυτικά σχέδια και εγχειρίδια χρήσης του συστήματος.

Οικονομοτεχνική Προσέγγιση

Πίνακας(12)-Οικονομοτεχνική προσέγγιση PV-T TFPV 5 kWp

	Περιγραφή Είδους	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Υλικό	Σύνολο
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ					
1	Φωτοβολταϊκά πλαίσια PV/T (Θα χρειαστούν 40 πλαίσια τύπου Heliosphera HS 125 με προσθήκη ηλιακού συλλέκτη ανθρακονήματος με κανάλια)	40	314,64	13.585,60	13.585,60
	ΣΥΝΟΛΟ				13.585,60
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ					
1	Αντιστροφέας (Inverter) Sunenergy LV 230	1	3.000,00	3.000,00	3.000,00
2	Σταθερή βάση στήριξης (32 πλασίων)	1	600,00	600,00	1.000,00
	Σταθερή βάση στήριξης (8πλασίων)	1	250,00	250,00	250,00
3	Αντικεραυνική προστασία & γειώσεις	1		184,06	184,06
ΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ					
1	Υδραυλικές εγκαταστάσεις	-	1.500,00	1.000,00	1.000,00
2	Γενικές εργασίες και μεταφορά εξοπλισμού	-	700	700	700
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ				3.200 21.734,46

Το σύστημα των 5 kWp, παράγει 7536 kWh, με feed in tariff 0,55 kWh, το σύστημα θα έχει οικονομική απόδοση 4.144,8 € /ανά έτος. Παρατίθεται κατωτέρω ο πίνακας ανάλυσης δανείου-απόσβεση:

	1	2	3	4	5	6	7	8
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Χρηματοροή								
ΠΩΛΗΣΕΙΣ								
1) ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΗΛ.ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ								
1 PV/T Σύστημα 5kWp								
1 PV/T Σύστημα 5kWp	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Συνολική Ονομαστική	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Μέση μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή του θερμό-φωτοβολταϊκού συστήματος								
1 PV/T Σύστημα 5kWp	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh
Μήνες ανά έτος	12	12	12	12	12	12	12	12
Συνολική Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ	Δάνειο	22000,00	6 - ΕΤΗ (ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ)	(EUROBANK)	3,85% (ΕΠΙΤΟΚΙΟ)			
	3.667,0000	3.808,1795	3.884,3431	3.962,0300	4.041,2706	4.122,0960	-	-
Προσάυξηση 2% ανά έτος στο Euribor							Σύνολο αποπληρωθέντος ποσού	23484,92
Μέση τιμή πώλησης (σε Euro/kwh)								
	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500
Ετήσια μεταβολή		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145
ΕΣΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	300,00
ΚΑΘΑΡΑ ΕΣΟΔΑ	378,00	236,82	160,66	82,97	3,73	77,10	3845,00	3845,00

Πίνακας(13)-Χρηματοροή - Ισολογιστικό PV-T ITPV 5 kWp

7.2 Περιβαλλοντική προσέγγιση

Το παρόν σύστημα , υπάγεται στις διατάξεις των μη-οχλουσών εγκαταστάσεων και διέπεται από τους νομοθετικούς κανόνες που απαντούν στις προαναφερθείσες. Δεν χρειάζεται καμία περιβαλλοντική αδειοδότηση και εκτός από την πολεοδομία (άδεια μικρής κλίμακας εργασιών) δεν δύναται να εκφέρει λόγο για την εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος κανείς, μηδενός εξαιρουμένου. Ωστόσο παρατίθεται ένας πίνακας που απαντά σε κύρια σημεία περιβαλλοντικής επίπτωσης αναφορικά με το έργο.

Δραστηριότητα - Παρέμβαση	Επιπτώσεις και προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης
Θόρυβος από την κίνηση οχημάτων και τα κατασκευαστικά έργα	Παροδική και με μικρή ένταση επίπτωση. Δεν επιβάλλεται η εφαρμογή των κανονισμών περιορισμών θορύβου. Επιβάλλεται μόνο η τήρηση των ωραρίων κοινής ησυχίας
Ατμοσφαιρική ρύπανση	θα υπάρξει μόνο από την κίνηση των οχημάτων, η οποία όμως χαρακτηρίζεται αμελητέα.
Εγκατάσταση συστήματος	θα απαιτηθούν περιορισμένου μεγέθους. Εργασίες ηλεκτρολογικές και υδραυλικές παρόμοιου τύπου, με αυτών των εγκαταστάσεων σε νέα κατοικία.
Κατασκευή γραμμής διασύνδεσης του συστήματος, με το δίκτυο της ΔΕΗ	προϋπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ όπου συνδέεται το σύστημα απευθείας από τους τεχνικούς της ΔΕΗ Α.Ε. στο δίκτυο χαμηλής τάσης.
Χώρος απόθεσης υλικών - εξοπλισμού	Οι αποθέσεις θα είναι προσωρινές εντός του περιβάλλοντος χώρου της οικίας (ιδιόκτητος χώρος)
Φυσικό Περιβάλλον	Καμιά μεταβολή στο οικοσύστημα

Πίνακας(14).

Δραστηριότητα - Παρέμβαση	Επιπτώσεις και προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης
Χρήση Γης	Η περιοχή είναι οικισμός και ανήκει σε Γενικό Πολεοδομικό σχέδιο
Όροι προσπέλασης συντήρησης	Η διέλευση οχημάτων για την συντήρηση του έργου είναι ισόποση με την διέλευση οχημάτων από έναν τυπικό δρόμο
Εγκατάσταση Έργου	Οι επιπτώσεις από την εγκατάσταση του έργου αφορούν μόνο στην κάλυψη του χώρου.
Αισθητική υποβάθμιση τοπίου	Δεν επηρεάζεται αισθητικά το περιβάλλον. Το μέλαν χρώμα των πλαισίων δίνει την αισθητική άποψη ότι πρόκειται για σκεπή
Γραμμές μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	Καμία νέα γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος

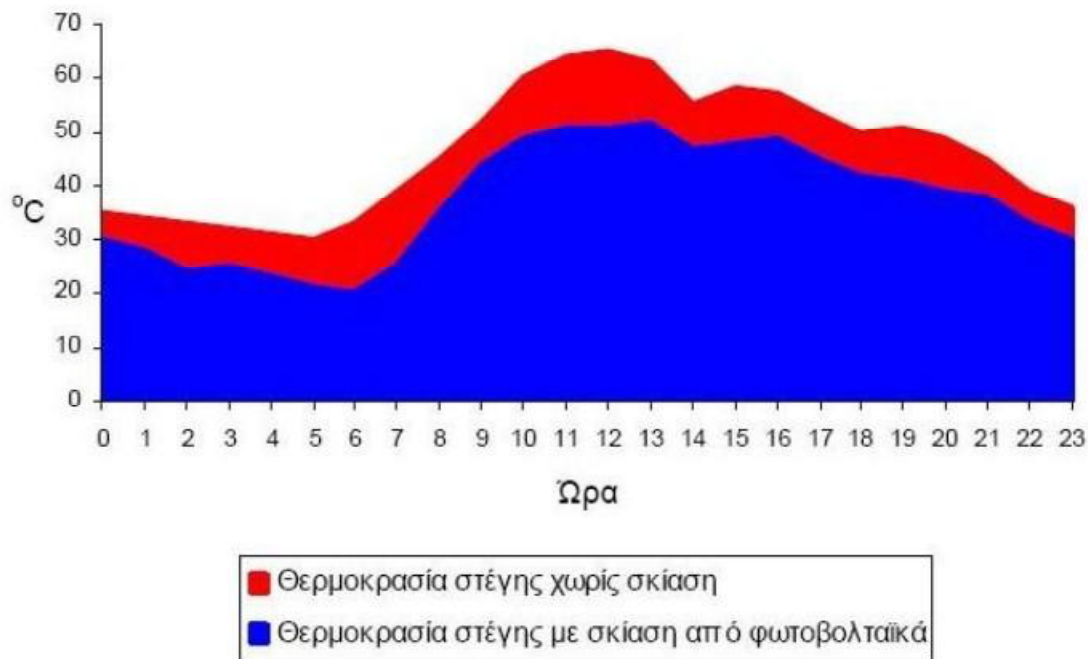
Πίνακας(15)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έως 150 kWp , σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, αποτελούν μη -οχλούσες εγκαταστάσεις, λόγω του ότι δεν υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οδηγούν στην υποβάθμιση του εκάστοτε οικοσυστήματος που τις φιλοξενεί, και αντιθέτως ενισχύουν την προσπάθεια για την εξυγίανση του περιβάλλοντος και στοχεύουν σε έναν εναλλακτικό τρόπο ζωής.

Στο παρόν σύστημα ένα ακόμα σημαντικό όφελος που προκύπτει και συνδέεται άρρηκτα με την εξοικονόμηση ενέργειας της οικίας που θα το φιλοξενήσει έγκειται στην μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας της οικίας σε διαστήματα που η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαρκής και έντονη.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων στις οικίες, επιφέρουν, ένα ιδιαίτερα σημαντικό όφελος το οποίο έγκειται στο ότι εξοικονομείται ενέργεια από την απαίτηση σε κλιματισμό. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που θα

δημιουργούσε αύξηση της θερμοκρασίας του κελύφους της οικίας. Παρατίθεται το σχετικό γράφημα.



Γράφημα(7)

Επίσης, σημαντικά οφέλη από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι τα ακόλουθα, για κάθε kWp εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά, εξοικονομείτε περίπου το 1/3 της ενέργειας που χρειάζεται για να παραχθεί μία kWh, από συμβατικά καύσιμα., για κάθε μία kWh από φωτοβολταϊκά, δεν διαχέονται στην ατμόσφαιρα 0,33 kg (καύση λιγνίτη στην Ελλάδα) CO₂.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα, είναι το ότι έχει δημιουργηθεί μία διεθνής σύμβαση των κατασκευαστριών εταιρειών για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μόλις παρέλθει ο χρόνος ορθής λειτουργίας τους. Η σύμβαση αυτή προβλέπει την ανακύκλωση των PV πλαισίων σε βαθμό περίπου 95% και η διαδικασία ονομάζεται PV Cycle.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το παρόν πόνημα και την μελέτη που έγινε, προκύπτουν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα. Η χρησιμότητα τους έγκειται στην μεγάλη προσπάθεια που καταβλήθηκε ούτως ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, στο βαθμό που ένα τέτοιο εγχείρημα μπορεί να καταστεί εφικτό, εφόσον δεν υπάρχουν πειραματικές μετρήσεις. Η βιβλιογραφία που καλύφθηκε περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος επιστημών, σχετικών με το πόνημα και την μελέτη εφαρμογής, του συστήματος ενδιαφέροντος.

Ένα μέρος επίσης καλύφθηκε από σημαντικούς φορείς διεθνούς κύρους και ακαδημαϊκώς αποδεκτούς. Τα συμπεράσματα παρατίθενται ακολούθως:

- Η πιθανή αποσταθεροποίηση της τιμής του πυριτίου, και η εκ νέου αύξηση της τιμής του, μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση στο κόστος της προμήθειας και εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Η εξέλιξη όμως των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα μπορεί να εξομαλύνει την αγορά και να δώσει οικονομική διέξοδο στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση από οικονομικούς κερδοσκοπικούς κύκλους.
- Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα αφήνουν υποσχέσεις ιδιαίτερα ανταγωνιστικών αποδόσεων σε σχέση με τα κρυσταλλικού τύπου στο εγγύς μέλλον.
- Η μειωμένη τιμή των TFPV εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικά , τα καθιστά θελκτικά στις μεγάλες εγκαταστάσεις σε ερημοποιημένα συστήματα.
- Ο αρκετά χαμηλός εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικού τύπου θερμοκρασιακός συντελεστής των TFPV , τα καθιστούν ιδιαίτερα θελκτικά σε εφαρμογές στις οικίες στο κλεινόν άστρ , λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας περιβάλλοντος που προκύπτει, από την μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων. Η δυνατότητα max λειτουργίας σε μεγάλη θερμοκρασία, είναι προτέρημα των TFPV
- Ο τρόπος κατασκευής των TFPV, και η δυνατότητα τους να εκμεταλλεύονται εκτός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και την διαχέουσα τα κάνει θελκτικά σε συστήματα BIPV (building integrated PV).
- Η δυνατότητα της σύνδεσης σε παράλληλη συνδεσμολογία, λόγω του ότι τα TFPV, έχουν αυξημένη τάση, δημιουργεί συνθήκες σταθερότητας στο σύστημα σε αστάθειες των κλιματολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων.
- Για την καλύτερη απόδοση PV/T , είναι προτιμώμενο το εργαζόμενο ρευστό να κυκλοφορεί πίσω από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο , ούτως ώστε να μην υπάρχουν απώλειες από τις σκεδάσεις και για να μην ανεβαίνει με γοργό τρόπο η θερμοκρασία του πλαισίου
- Το ανθρακόνημα είναι αρκετά αξιόπιστο υλικό και στην σύγκριση ποιότητας - απόδοσης - κόστους, είναι η καλύτερη επιλογή συγκρίσει με το αλουμίνιο και τον χαλκό για την κατασκευή ηλιακών θερμικών συλλεκτών.
- Η διαφορά που προκύπτει στις παραγόμενες kWh μεταξύ του PVSYST (6192 kWh) και του TRNSYS (7536 kWh) , έγκειται στο ότι το PVSYST υπολογίζει μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς στην θερμοκρασιακή λειτουργία των συνθηκών της τοποθεσίας του συστήματος ενδιαφέροντος ενώ το TRNSYS υπολογίζει την θερμική και ηλεκτρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το εύρος λειτουργίας του πλαισίου επιλέχθηκε να είναι 35 - 45 °C ανάλογα με την εποχή και ρυθμίστηκε με την διαφοροποίηση στην ροή νερού διαμέσου του κυκλοφορητή.

- Η θερμική ενέργεια του συστήματος PV/T TFPV ανέρχεται σε 4135 kWh. Εάν υπολογιζόταν μόνο η απαιτητή θερμική ενέργεια για την χρήση ZNX μιας τετραμελούς οικογένειας, το έτος (η οποία ανέρχεται σε 5.418 kWh) και γινόταν η αφαιρετική πράξη, θα οδηγούσε σε λανθασμένη ερμηνεία χωρίς την παράθεση του κριτηρίου. Αντί αυτού υπολογίστηκε ανά μήνα και σε πραγματικές συνθήκες η ποσότητα θερμικής ενέργειας (2432 kWh) που απαιτείται για να ανυψώσει το ZNX στους 35-45 °C, που δίδεται από το σύστημα PV/T και για την περαιτέρω ανύψωση, επιλέγεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Άρα η συμβολή του PV/T TFPV, υποβοηθά την διαδικασία κατά μέσο όρο 50%. Και η υπόλοιπη θερμική ενέργεια (2986 kWh) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ενδοδαπέδια θέρμανση , η οποία απαιτεί χαμηλή θερμοκρασία , περίπου 35 °C.
- Στην περίπτωση που η στέγη ή το δώμα δεν έχει επάρκεια χώρου για να φιλοξενήσει 10 kWp, ούτως ώστε να μπορεί κάποιος Έλληνας πολίτης να εκμεταλλευτεί το feed in tariff , και να έχει άμεσο οικονομικό όφελος, και κυμαίνεται στην περιοχή ισχύος **5kWp<PV/T TFPV<7 kWp**, κρίνεται περισσότερο ωφέλιμο να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία PV/T TFPV , ούτως ώστε να εκμεταλλευτεί πλήρως τον ωφέλιμο χώρο , χωρίς να χρειαστεί τριφασικό ρεύμα (αυξημένο πάγιο - επιπλέον κόστος εγκατάστασης) , χρησιμοποιώντας την θερμική ενέργεια , για να αντισταθμίσει την διαφορά στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- Το δάνειο που επιλέχθηκε , προέρχεται από πραγματική προσφορά δανείου, ελληνικής τράπεζας , στην κατηγορία για τα «Πράσινα Δάνεια» στο οποίο υπάρχει επιτόκιο Euribor 3,85 % , στο οποίο προσθέσαμε επιπλέον 2% ανά έτος αποπληρωμής. Για αυτό τον λόγο υπάρχει μία χρονιά που φαίνεται ζημιογόνα η επένδυση κατά 2015. **Η οποία είναι τεχνητή ζημία** Σε καμία περίπτωση και ούτε κατά διάνυσαν, δεν θα μπορούσε να αποτελέσει ζημιογόνα επένδυση η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε δώμα είτε σε στέγη.
- Ο προσδιορισμός του Φωτοβολταϊκού/Θερμικού συστήματος, ως υβριδικό , είναι όρος καταχρηστικά, χρησιμοποιούμενος λόγω του ότι πρόκειται για σύστημα συμπαραγωγής Θερμότητας και ηλεκτρισμού. Λόγω της διάδοσης του, και της μεγάλης συχνότητας εμφάνισης, του προσδιορισμού, στην βιβλιογραφία, επιλέγεται από τον συγγραφέα η χρησιμοποίησή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Α. Παπαδόπουλος. Σημειώσεις ενεργειακής οικονομίας. Θεσσαλονίκη 2002
- [2] International Energy Agency. Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. IEA2005. On line available at : <http://www.iea.org>
- [3] Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ) . Μη ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια. ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>
- [4] International Energy Agency. Αποθέματα Πετρελαίου. IEA2006. On line available at : <http://www.iea.org>
- [5] J.K. Kaldellis, D. Zafeirakis, E. Kondili. Contribution of lignite in the Greek electricity generation: Review and future prospects. Elsevier 2008
- [6] Energy Information Administration. World Energy Outlook 2008. On line available at: <http://www.eia.doe.gov>
- [7] Υπουργείο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Νομοσχέδιο σε διαβούλευση επιτάχυνσης διαδικασιών Α.Π.Ε.2010. On line available at: <http://www.opengov.gr>
- [8] Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων. Ηλιακή Ενέργεια. ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>
- [9] Γ. Μπεργελές. Ανεμοκινητήρες. Συμεών. Αθήνα 2005
- [10] Γ. Λεμονής. Κυματική ενέργεια στην Ευρώπη, εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης. ΚΑΠΕ. 2005
- [11] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης. Φωτοβολταϊκά συστήματα. ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη. 2004. D. Aldcroft, S. Ville. Η ευρωπαϊκή οικονομική ιστορία 1750-1914. Εκδ.Αλεξάνδρεια. 2005
- [12] Σ. Τσιουρής. Θέματα προστασίας περιβάλλοντος. Γαρταγάνης. Θεσσαλονίκη. 2001.
- [13] Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Συνθήκη του Αμστερνταμ. 1997. On line available at : <http://eur-lex.europa.eu>
- [14] Σύνταγμα της Ελλάδος. Άρθρο 24. Εθνικό τυπογραφείο.
- [15] Σ. Πέρδιος. Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Τεκδοτική. 2007

- [16] Remmers, Falk, Durschmer. Photovoltaics for professionals. Solar praxis AG/ Earthscan. Berlin/London. 2007.
- [17] Cirimina, Pagliaro, Palmisano. Flexible solar cells. Wiley-VCH. Weinheim. 2008
- [18] DGS (German Energy Society). Planning & Installing Photovoltaics Systems. Earthscan. Berlin. 2009
- [19] Α. Μπουζούκας. New approaches for cooling photovoltaic/thermal (PV/T) systems. University of Nottingham. England 2008
- [20] Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Ανάπτυξης - ΚΥΑ 12323. Ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων. Εθνικό τυπογραφείο. Αθήνα. 2009
- [21] Institute of Environmental Sciences (ISE). PVSYST - Manual. University of Geneva 2009.
- [22] Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ). Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Αθήνα 2009
- [23] A. Zondag, D Vries, J.Van Helden, C.Zolingen A. Streenhoven. The thermal and electrical Yield of a pv thermal collector. Solar energy 2002
- [24] A. Zondag, D Vries, J.Van Helden, C.Zolingen A. Streenhoven. The thermal and electrical Yield of a pv thermal collector. Solar energy 2002
- [25] Μ.Χόνδρος, Δ. Γκιώνης. Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ) εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kWp, στην Ν. Λέρο. Λέρος 2009.
- [26] Φραγκιαδάκης Ιωάννης Ε. (2004) , *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Εκδόσεις: ΖΗΤΗ
- [27] Καπλάνης Σωκράτης Ν. (2004) , *Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων*, Εκδόσεις: ΙΩΝ
- [28] Νεοκλέους Ανδρέας (1999) , *Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Βασικές Έννοιες, Οδηγίες Σχεδιασμού, Οικονομική Βιωσιμότητα*, Εκδόσεις: ΙΩΝ
- [29] http://www.nationmaster.com/red/pie/ene_ele_con-energy-electricity-consumption
- [30] Λογισμικό PVSYST www.rae.gr
- [31] www.selasenergy.gr
- [32] www.hellascams.gr
- [33] www.prosolar.gr

- [34] www.cres.gr
- [35] www.npt.gr
- [36] www.elvityl.gr
- [37] <http://www.capital.gr>
- [38] www.ethnos.gr
- [39] www.erymanthos.gr
- [40] <http://www.elyros.com/greek/ape.asp>
- [41] www.photovoltic.gr
- [42] <http://e-ptolemeos.gr/index>
- [43] <http://www.giapraki.gr>
- [44] <http://www.e-forologia.gr>

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

(1)	ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
(2)	ϕ/β	Φωτοβολταϊκό
(3)	PV/T	Photovoltaic/thermal (θερμό-φωτοβολταϊκό)
(4)	TFPV	Thin film Photovoltaic (φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα)
(5)	a-si	Amorphous Si (άμορφο πυρίτιο)
(6)	CdTe	Cadmium Telluride
(7)	CIS	Copper Indium di-Selenide
(8)	CIGS	Copper Indium Gallium di-Selenide
(9)	GaAs	Gallium Arsenide
(10)	IEA	International Energy Agency
(11)	E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
(12)	NATO	Οργανισμός Βορειο Ατλαντικού Συμφώνου
(13)	EC	European
(14)	kWh	kilo-Watt-hour (κιλοβατώρα)
(15)	kWp	kilo-watt-peak
(16)	AU	Astronomical Unit
(17)	W/m ²	Watt per square meter (Watt ανά τετραγωνικό μέτρο)
(18)	K	Kelvin
(19)	AM	Air Mass (μάζα αέρα)
(20)	DTT	Dithioerythritol
(21)	E _g	Ενεργειακό χάσμα
(22)	h	σταθερά Planck (6.626068 χ 10 ⁻³⁴ m ² kg / s)
(23)	V	Volt
(24)	p/n	Positive/negative
(25)	V _{oc}	Open Circuit Voltage
(26)	I _{sc}	Short Circuit current
(27)	FF	Fill Factor (συντελεστής πλήρωσης)
(28)	η or n	Απόδοση
(29)	G	Ένταση ακτινοβολίας που δέχεται σώμα εμβαδού A
(30)	AR	Anti-Reflecting
(31)	BIPV	Building Integrated PV
(32)	V _{mpp}	maximum power point Voltage
(33)	AC/DC	Alternative current / Direct current
(34)	n _{th} /n _{ele}	Θερμική απόδοση/ ηλεκτρική απόδοση
(35)	Q _u	Ωφέλιμη συλλεγμένη θερμότητα
(36)	C _p	Ειδική θερμότητα
(37)	T	Θερμοκρασία
(38)	T _{pm}	Θερμοκρασία συλλέκτη
(39)	A _c	Επιφάνεια του συλλέκτη
(40)	FR	Παράγοντας απολαβής
(41)	F'	Παράγοντας απόδοσης συλλέκτη
(42)	hf,I	Συντελεστής θερμικής συναγωγής (ερ.ρυστού-τοιχ)

(43) NUD	Ροή νερού στο κανάλι
(44) K	Θερμική αγωγιμότητα του νερού
(45) Dh	Υδραυλική διάμετρος
(46) P	Περίμετρος
(47) Tc	Θερμοκρασία πλαισίου
(48) Ta	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
(49) NOCT	Nominal Operational
(50) nc	απόδοση μετατροπής του πλαισίου
(51) τα	Παράγων διαπερατότητας και απορροφητικότητας
(52) ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
(53) °0	Αθροισμα θερμικής και ηλεκτρικής απόδοσης
(54) lt	liter
(55) Q	Θερμότητα

