

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 980

ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΑΡΚΟΥ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ 100KW (Project and
drawing of solar park 100Kw)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΤΣΙΜΠΛΟΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΛΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΚΟΥΝΤΟΥΡΟΥΔΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελ

Πρόλογος.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ Α.Π.Ε.	
1.1 Γενική εισαγωγή και περιγραφή των Α.Π.Ε.....	6
1.2 Κατηγορίες των Α.Π.Ε. και πλεονεκτήματα.....	8
1.3 Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα.....	11
1.4 Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα.....	13
1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών.....	18
1.5.1 Καταναλωτικά προϊόντα (1mw-100 wr).....	19
1.5.2 Αυτόνομα ή απομονωμένα (100wr-200 kwr).....	19
1.5.3 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα-οικιακός τομέας (1.5kwr-20kw).....	21
1.5.4 Αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	22
1.5.5 Μεγάλα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (50kwr- μερικά Mwr).....	23
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	
2.1 Ηλιακή ενέργεια.....	24
2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	26

2.3 Περιγραφή Φ/Β φαινόμενου.....	28
2.4 Απορρόφηση ακτινοβολίας από το φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	30
2.5 Η χρήση του πυριτίου στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	32
2.6 Οι διάφοροι τύποι των φωτοβολταϊκών στοιχείων του πυριτίου.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Γενικά.....	41
3.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	42
3.3 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	43
3.4 Αποδόσεις φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	44
3.5 Επίδραση εξωτερικών παραμέτρων.....	47
3.6 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	48
3.6.1 Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά	49
3.6.2 Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα.....	51
3.7 Διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	53
3.8 Τοποθέτηση και χωροδιάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	53
3.9 Βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	55
3.9.1 Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη.....	56

3.9.2 Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη.....	61
3.9.3 Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers).....	63
3.9.3.1 Στροφή γύρω από Έναν Άξονα.....	64
3.9.3.2 Αζιμουθικό Ηλιοτρόπιο.....	64
3.9.3.3 Πολικό Ηλιοτρόπιο (polar tracker).....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Γενικά για τις απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	83
4.2 Υπολογισμός της παραγωγής αναφοράς.....	84
4.3 Ο συνολικός συντελεστής απωλειών.....	84
4.3.1 Υπολογισμός παραγωγής συστοιχίας.....	85
4.3.2 Υπολογισμός των απωλειών του συστήματος.....	85
4.3.3 Υπολογισμός απωλειών μεταξύ των συστοιχιών.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 100 KW.....	87
Επίλογος.....	112
Βιβλιογραφία και πηγές πληροφοριών και προϊόντων για την μελέτη του πάρκου.....	113

Πρόλογος

Είναι γνωστό σε όλους ότι ο άνθρωπος με τις δραστηριότητες του έχει υποβαθμίσει το φυσικό περιβάλλον σε σημαντικό βαθμό. Επίσης είναι γνωστή και η χρονική περίοδος (δεκαετία του '70) κατά τη διάρκεια της οποίας εκδηλώθηκε η περιβαλλοντική κρίση. Τα φαινόμενα που εμφανίστηκαν τότε ήταν στο στάδιο της επιστημονικής μελέτης και παρακολούθησης. Τριάντα χρόνια αργότερα η ανθρωπότητα άρχισε να αναζητά λύσεις μέσα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή, η οποία με ροή ισχύος περίπου $1,4 \text{ kW/m}^2$ αποτελεί σημαντικό ενεργειακό πλούτο ειδικότερα για την Ελλάδα. Η γήινη ατμόσφαιρα αντανakλά ένα μέρος της ενέργειας και επιτρέπει τελικά να καταλήξει στο έδαφος περίπου 1 kW/m^2 , τιμή που αντιστοιχεί σε συνθήκες θερινού ηλιοστασίου κατά τις μεσημεριανές ώρες και με αίθριο καιρό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα τετραγωνικό μέτρο εκτεθειμένο στον ήλιο δέχεται ημερησίως κατά μέσο όρο $4,3 \text{ kWh}$. Συγκριτικά με τα αποθέματα πετρελαίου που είναι γνωστά σε όλο τον πλανήτη η ενέργεια που δέχεται ετησίως η γη είναι χίλιες φορές μεγαλύτερη.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση των φυσικών παραμέτρων και των τεχνικών χαρακτηριστικών που

επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ Α.Π.Ε.

1.1 Γενική εισαγωγή και περιγραφή των Α.Π.Ε.

Με τον γενικό όρο φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ανήκουν στην κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος ,το νερό,ο άνεμος,η βιομάζα κτλ) οι οποίες και υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλονκαι ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και έτσι θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες.Στην εποχή που βρισκόμαστε οι καύσιμες ύλες βρίσκονται σε χαμηλό απόθεμα και σαν συνέπεια έχει να αυξάνεται το κόστος τους ραγδαία. Γι' αυτό αναζητούμε τρόπους για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε αγαθά της φύσης όπως ο ήλιος και ο αέρας ώστε να παράγουμε ενέργεια από αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με της ανεμογεννήτριες και της ηλιακές πλάκες που χωρίζονται σε ηλιακά πάνελ για την παραγωγή ηλεκτρισμού και τις ηλιακές πλάκες που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση νερού όπως τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Στην μελέτη που θα ακολουθησει θα εξετάσουμε το κομμάτι παραγωγής ηλεκτρικης ενεργειας χρησιμοποιοντας την ενεργεια του ηλιου. Θα αναλυσουμε τα ειδη ηλιακων πανελ που υπαρχουν, πλεονεκτημα και

μειονεκτημα που εχουν, καθως και το κοστος τους ωστε να προχωρησουμε στην μελετη ενός φωτοβολταικου παρκου ισχυος 100Kw. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γή.Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γής είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο προσπίπτουν 1700 kwh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταικά είναι αξιόπιστη, δεν περιλαμβάνει κινούμενα μέρη και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό. Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη και δεν μολύνουν το περιβάλλον. Επίσης η ενέργεια παράγεται εκεί που χρειάζεται χωρίς να είναι αναγκαίες γραμμές για την μεταφορά της . Η φωτοβολταική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακή ενέργεια βρίσκει πολλές εφαρμογές στην πράξη. Πάντως τίποτα από αυτά δεν θα γινόταν πραγματικότητα εάν δεν είχε επικυρωθεί το πρωτόκολλο του κίото (11 Δεκεμβρίου 1997) όπου τα κράτη μέλη Ε.Ε. οφείλουν να μειώσουν τις εκπομπές των έξι αερίων του θερμοκηπίου και άλλες διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν κάτω από την πίεση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει και αυτή με την σειρά της κίνητρα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,τα οποία μάλιστα ήταν ιδιαίτερα ελκυστικά για τους υποψήφιους επενδυτές. Εμείς θα ασχοληθούμε με τη σχεδίαση

και μελέτη πάρκου φωτοβολταϊκών ισχύος 100kw όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

1.2 Κατηγορίες των Α.Π.Ε. και πλεονεκτήματα

Οι μορφές των Α.Π.Ε. που σήμερα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας από το περιβάλλον είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, η υδάτινη ενέργεια ,τόσο στη ξηρά (μικρά υδροηλεκτρικά) όσο και στην θάλασσα (ενέργεια κυμάτων), τη βιομάζα αλλά και γεωθερμία. Συνοψίζοντας τις μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι εξής:

- **ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** Η κινητική ενέργεια που παράγεται από την δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή/ και σε ηλεκτρική ενέργεια
- **ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (μέχρι 10MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια
- **ΒΙΟΜΑΖΑ:** Είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Η ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει, τις εξής μορφές ενέργειας :

- **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:** Μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμότητα.

- **Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα:** Αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για την μεγιστοποίηση της απευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση ,κλιματισμό ή φωτισμό
- **Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα:** Μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Γεωθερμική Ενέργεια:** Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
- **ΥΔΡΟΓΟΝΟ:** Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον.

Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. παρουσιάζει ένα πλήθος από πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας. Τα κύρια εκ των οποίων είναι :

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για την σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου .Επιπλέον υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών

από άλλους ρυπαντές π.χ. οξειδία θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.

- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο , ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από την μεταφορά ενέργειας .
- Προσφέρουν την δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή)
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των Α.Π.Ε. δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων(π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

1.3 Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο ,ο στόχος της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου διαφοροποιείται για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. με δεδομένη όμως την διατήρηση του καθολικού στόχου. Για την επίτευξη του καθολικού στόχου του πρωτοκόλλου του Κιότο (παγκόσμια μείωση 5,2% των εκπομπών αερίων , σε σχέση με τα επίπεδα του 1990) με μειωμένο κόστος ,προτείνονται μεταξύ άλλων μέτρων και τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί : η εμπορία εκπομπών, τα έργα κοινής εφαρμογής και ο μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης. Για την ευρωπαϊκή ένωση και για τα κράτη μέλη της, έχει προβλεφθεί πιλοτική περίοδος εφαρμογής του συστήματος εμπορίας εκπομπών για την περίοδο 2005 -2007, σύμφωνα με την οδηγία 2003/87 η οποία θα αφορά μόνο τις εκπομπές CO₂ ενώ το πρόστιμο για κάθε επιπλέον εκπεμπόμενο τόνο διοξειδίου του άνθρακα θα είναι 40€/tCO₂. Οι υποχρεώσεις της

Ελλάδας προβλέπουν μια συγκράτηση του ρυθμού αύξησης κατά το έτος 2010 του διοξειδίου του άνθρακα κατά 27% σε σχέση με το έτος βάση 1990. Σε αυτήν την κατεύθυνση κινείται και η οδηγία της ευρωπαϊκής ένωσης για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας η οποία προβλέπει ενδεικτικό στόχο κάλυψης από ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές ίσο με ένα 20,1% της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010 για την Ελλάδα. Είναι λοιπόν εμφανής η ανάγκη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. Από εκτιμήσεις του υπουργείου ανάπτυξης και της ρυθμιστικής αρχής ενέργειας, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται με μέσο όρο 4% για το ηπειρωτικό σύστημα και 5,5% για τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα μέχρι και να κινηθεί ενιαία σε ποσοστό αύξησης 3,6% για όλη τη χώρα. Με αυτούς τους ρυθμούς βλέπουμε ότι η Ελλάδα κινείται εκτός των προβλεπόμενων ορίων, σύμφωνα με τους ρυθμούς αύξησης αυτών, η Ελλάδα το 2010 θα έχει αυξήσει τους ρύπους της κατά 35,8%. Το ποσοστό αυτό ξεπερνά τα όρια που έχουν θεσπιστεί από το πρωτόκολλο του Κιότο. Η μείωση λοιπόν των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου επιβάλλει τη στρόφη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με την κατασκευή σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο, μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας καθώς και η κατασκευή μικρών φραγμάτων και αιολικών πάρκων είναι από

τα μέτρα που κινούνται στη κατεύθυνση μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, ταυτόχρονα με την προσπάθεια κάλυψης της συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατάσταση και η χρήση των Α.Π.Ε. αποτελούν ενδεικτική λύση για την μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου στην Ελλάδα. Η εγκατάσταση των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα θεωρείται ιδανική και λόγω της μορφολογίας της που ευνοεί την ανάπτυξη τους.

1.4 Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα

Η ανάπτυξη των φ/β συστημάτων στην Ελλάδα έκανε την εμφάνιση της ουσιαστικά την δεκαετία το '80, βρίσκοντας εφαρμογές αρχικά σε πειραματικά προγράμματα τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης και συνέχισαν την ανάπτυξη τους κατά την δεκαετία του '90 και του '00. Η χρήση των φ/β συστημάτων στην Ελλάδα αποτελεί κυρίως εγκαταστάσεις της ΔΕΗ για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια στα νησιά (Κύθνος, Σίφνος κλπ.) επίσης βρίσκουν εφαρμογή στην ηλεκτροδότηση του συνόλου του δικτύου φάρων από την αντίστοιχη υπηρεσία του πολεμικού ναυτικού που έχει εγκαταστήσει πάνω από 1000 μικρά φ/β συστήματα σε όλη την Ελλάδα συνολικής ισχύος πάνω από 70 kwp έχοντας ηλεκτροδοτήσει με φ/β σχεδόν όλους τους φάρους, εφαρμογή σε αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, σε αυτόματα συστήματα τροφοδότησης

απομακρυσμένων συνήθως από το δίκτυο της ΔΕΗ εγκαταστάσεων, καθώς και σε διασυνδεδεμένα φωτοβολταικά πάρκα. Η ανάπτυξη των φ/β συστημάτων στην Ελλάδα προήλθε από την θέσπιση αναπτυξιακών κινήτρων όπως τα διάφορα υπηρεσιακά προγράμματα. Συγκεκριμένα το επιχειρησιακό πρόγραμμα ενέργειας ΕΠΕ κατά το β΄ ΚΠΣ και το επιχειρησιακό πρόγραμμα ανταγωνιστικότητα ΕΠΑΝ κατά το Γ΄ ΚΠΣ .Σύμφωνα με τα οποία υπήρχε δυνατότητα επιδότησης των δαπανών εγκατάστασης ΑΠΕ και Συμπαγωγής .Με την θέσπιση αυτών των κινήτρων τα φ/β συστήματα κοστολογούνται με υψηλή τιμή πώλησης της kwh για τον ηλεκτρο-παραγωγό , ιδιαίτερα ελκυστική για τις συνθήκες ηλιοφάνειας της χώρας μας. Το μέτρο αυτό εφαρμόζεται ήδη σε χώρες όπως η Γερμανία, Ισπανία , Ιταλία κλπ. Και πρόσφατα στην Ελλάδα, έχει στόχο να αυξηθεί η ζήτηση φ/β συστημάτων με αποτέλεσμα να γίνουν επενδύσεις για την μαζική παραγωγή τους που θα οδηγήσει σε οικονομικότερα προϊόντα λόγω της οικονομίας κλίμακας που θα πετύχουν. Το φωτοβολταικό μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό, αποθηκεύεται σε συσσωρευτές για χρήση όλες τις ώρες του 24ώρου.Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση τους :

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Εύχρηστα
- Εγκατάσταση μέσα στη πόλη, καθώς δεν προσβάλλουν την αισθητική περιβάλλοντος

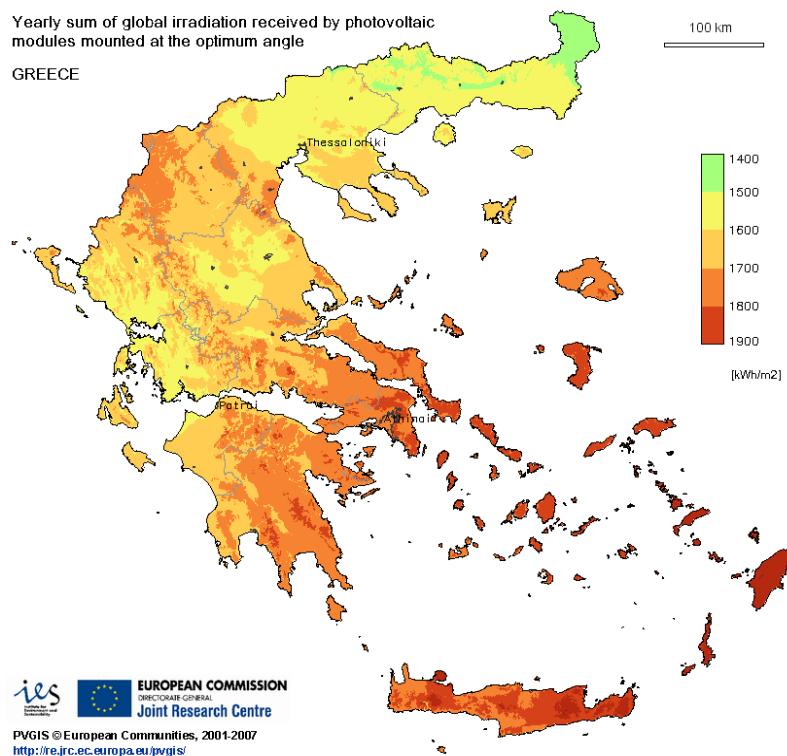
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας
- Βαθμωτά συστήματα δηλαδή μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες του χρήστη
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Μεγάλη διάρκεια ζωής κατά τη λειτουργία. Εγγυήσεις από κατασκευαστές για 25 χρόνια καλής λειτουργίας
- Ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος που χρεώνει η εταιρία ηλεκτρισμού τους πελάτες της.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά, υποκαθιστώντας άλλα παραδοσιακά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις). Κατ' αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα και φυσικοί πόροι. Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, διατίθενται σήμερα διαφανή φωτοβολταϊκά με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτίριο με συμβατικά υαλοστάσια. Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται:

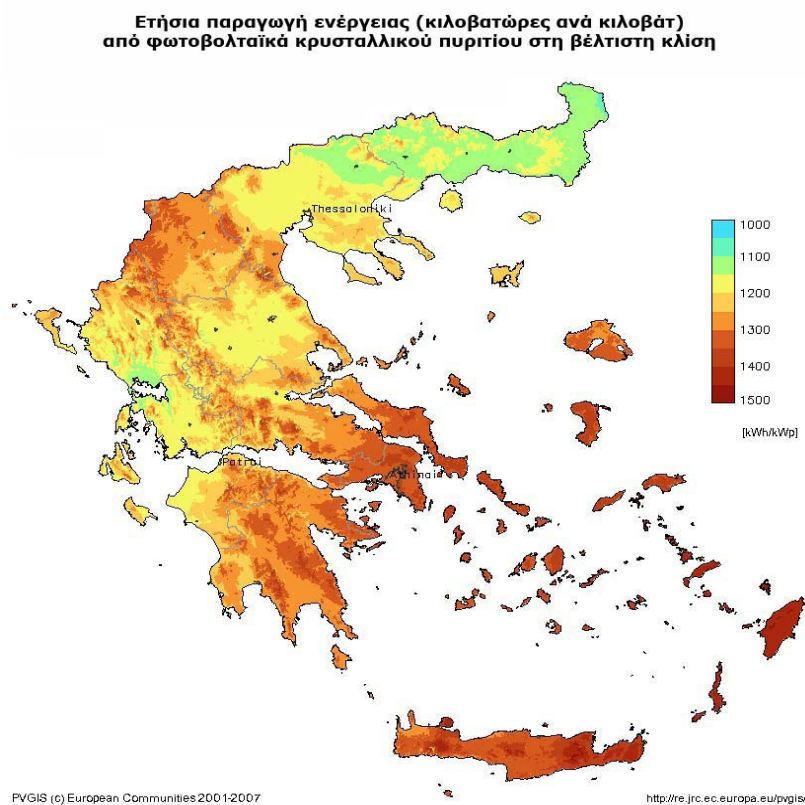
- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Διεθνώς και στη χώρα μας γίνονται προσπάθειες για ευρύτερη χρήση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Το μόνο μειονέκτημα αυτών είναι το υψηλό ακόμα κόστος τους. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις δεν μολύνουν και μπορούν να εξυπηρετήσουν αυτόνομα μικρούς καταναλωτές. Έτσι μπορούν να βρουν εφαρμογή σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, σε μεταδότες μικροκυμάτων, στην καθοδική προστασία, στην αυτοδύναμη εξυπηρέτηση μετεωρολογικών και γεωφυσικών οργάνων μετρήσεων, σε ραδιόφωνα, σε ηλιακές αντλίες νερού, στη ναυσιπλοία, σε συστήματα ασφαλείας και νερού, καθώς επίσης και στην εξυπηρέτηση οποιουδήποτε φορτίου αυτόνομα ή σε συνεργασία με το εθνικό μας δίκτυο. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια μετατροπής, επομένως στους υπολογισμούς των διαφόρων φ/β εγκαταστάσεων είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα

επιφάνειας στην περιοχή που θα γίνει η εγκατάσταση. Γενικά , όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος , τόσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Στην Ελλάδα, η μέση ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας φαίνεται στην εικόνα 1.2 .Με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τα λοιπά περιβαλλοντικά δεδομένα, προκύπτει η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά εγκατεστημένο kwp όπως στην εικόνα 1.3



Εικόνα 1.2 Μέση ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας στη βέλτιστη γωνία



Εικόνα 1.3 Μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά εγκατεστημένο Kw_p

1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, διακρίνονται σε κατηγορίες με σκοπό την αποδοτικότερη εφαρμογή και απόδοση τους στις ανάλογα με την χρήση την οποία και έχουν σε διάφορες εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι κατηγορίες λοιπόν των

φωτοβολταικών συστημάτων ανάλογα με την εφαρμογή τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες

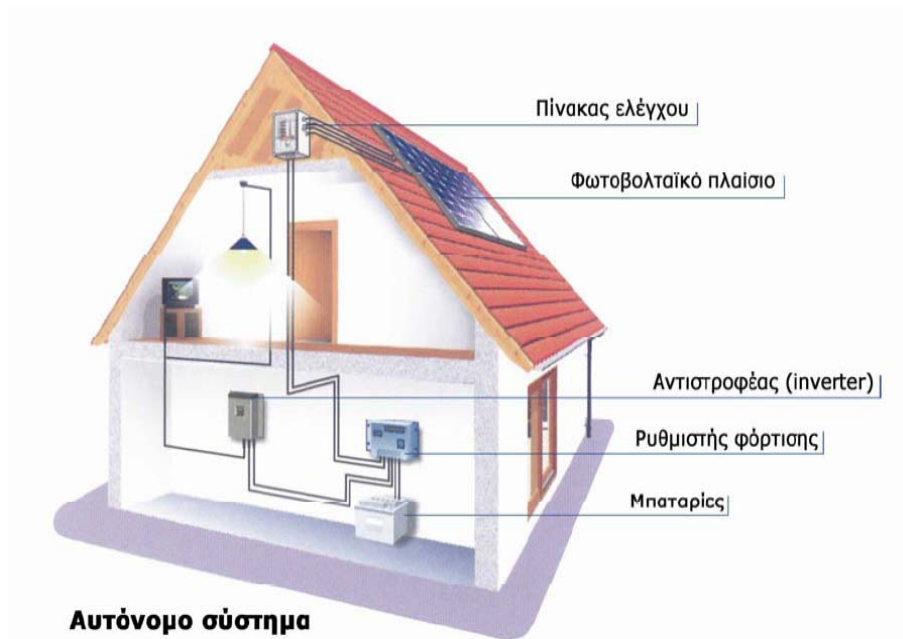
1.5.1 Καταναλωτικά προϊόντα (1mw-100 wr)

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα , σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, συστήματα σηματοδότησης κ.α.

1.5.2 Αυτόνομα ή απομονωμένα (100wr-200 kwr)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτοδότηση ιερών ναών ,συστήματα εξωτερικού φωτισμού, συστήματα τηλεπικοινωνιών ,συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας κ.α. Στα αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα, είναι απαραίτητη η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε μπαταρίες, οι οποίες και χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές των αυτόνομων συστημάτων είναι ειδικού τύπου, ώστε να μπορούν να αντέχουν στους συνεχείς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Οι μπαταρίες ανάλογα με την ποιότητα τους, καθώς και από τον τρόπο χρήσης τους έχουν διάρκεια ζωής η οποία κυμαίνεται από 3

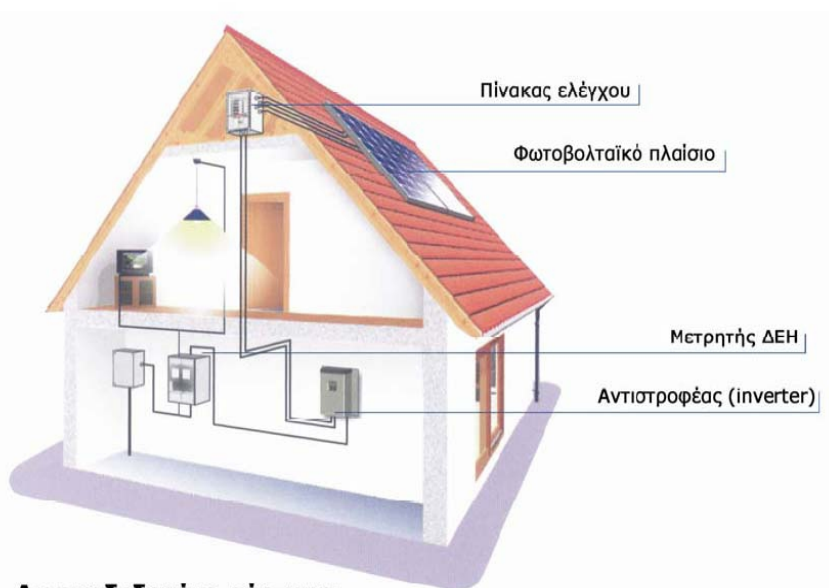
εώς 8 χρόνια. Επίσης στα αυτόνομα φ/β συστήματα απαιτείται η χρήση ενός ρυθμιστή φόρτισης ο οποίος και προστατεύει τους συσσωρευτές από την υπερφόρτιση καθώς και από την ολική εκφόρτιση τους. Απαραίτητη είναι και η χρήση ενός αντιστροφέα ισχύος (inverter) , οποίος και χρησιμοποιείται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος το οποίο και παράγεται από το φ/β σύστημα σε εναλλασσόμενο ρεύμα για την χρήση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του αντιστροφέα ισχύος και να λειτουργεί στην μέγιστη ισχύ του, θα πρέπει η ισχύς του αντιστροφέα να είναι περίπου το 80-90% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των φ/β.



1.5.3 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταικά συστήματα-οικιακός τομέας (1.5kwp-20kw)

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν φ/β συστήματα , τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς φ/β συστημάτων. Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συστήματα μπορεί να εξοικονομηθεί το κόστος της εναλλακτικής παραγωγής και παράλληλα, εφόσον υπάρχει περίσσεια ισχύος, ο διαχειριστής του συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ) αγοράζουν την πλεονάζουσα ενέργεια σε εξαιρετικά προνομιακές τιμές. Δεδομένου ότι η παραγωγή από ΑΠΕ παρουσιάζει σημαντικές ωριαίες, ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις, τα συστήματα αποθήκευσης στα διασυνδεδεμένα συστήματα διευκολύνουν τον καλύτερο συσχετισμό της τροφοδοσίας με τη ζήτηση. Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φ/β συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταικά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια εφόσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο . Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταικά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωμένη ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο

και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης



Διασυνδεδεμένο σύστημα
(ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο της ΔΕΗ)

1.5.4 Αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Πρόκειται για αυτόνομα συστήματα που αποτελούνται από τη φ/β συστοιχία σε συνδιασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μια γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ΑΠΕ (πχ ανεμογεννήτρια). Στα αυτόνομα υβριδικά φ/β συνήθως δεν απαιτούν μέσα αποθήκευσης (συσσωρευτές), παράγουν ενέργεια από εγκατεστημένη ντιζελογεννήτρια κατά τις ώρες

απουσίας του ήλιου ή και αέρα και εξορθολογικοποιούν την εγκαταστημένη ισχύ των ηλιακών ή και αιολικών μονάδων.

1.5.5 Μεγάλα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (50kwp- μερικά Mwp)

Η κατηγορία αυτή αφορά φ/β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο . Οι μεγάλοι φ/β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται φ/β πάρκα, τα οποία και αποτελούνται από μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών συστοιχιών συνδεδεμένες μεταξύ τους.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Γνωρίζουμε ότι η πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία και εκπέμπεται από τα σώματα, προέρχεται λόγω της θερμοκρασίας τους. Έτσι η πυκνότητα ισχύος είναι ανάλογη του μήκους κύματος της θερμοκρασίας του σώματος καθώς και της φύσης του σώματος που εκπέμπει την ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φάσμα συχνοτήτων ακτινοβολίας με μήκος κύματος από 0,3 έως 1,7 μm με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0,5 μm . Το μέγεθος που λαμβάνει τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια επιφάνεια ή την διαπερνά, ορίζεται σαν πυκνότητα ισχύος ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και έχει μονάδα μέτρησης σε W/m^2 επίσης συμβολίζεται με G . Μπορούμε λοιπόν να διαπιστώσουμε ότι η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται την κάθε χρονική στιγμή από την ώρα, από την θέση του ήλιου την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, καθώς και από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Καταλαβαίνουμε ότι σχεδιασμός μιάς φωτοβολταϊκής εγκατάστασης απαιτεί την συλλογή στοιχείων της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών . Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση

την οποία και βρίσκεται ο ήλιος από την γή, η οποία μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους. Έτσι η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο δεν φτάνει όλη στη γή. Ένα μέρος από την συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κτλ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη. Έτσι λοιπόν στην επιφάνεια της γής φτάνει η απευθείας ακτινοβολία ή άμεση ακτινοβολία (Beam), που εξαρτάται από την ατμόσφαιρα (σύννεφα, υγρασία κ.α.) και η διάχυτη ακτινοβολία(Diffuse), που εξαρτάται από την επιφάνεια που βρίσκεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Η συνολική ακτινοβολία που καταλήγει τελικά στο συλλέκτη αποτελείται από την απευθείας ακτινοβολία καθώς και από την διάχυτη ακτινοβολία που διαχέεται στην ατμόσφαιρα και από την διάχυτα ανάκλαση που δέχεται από το έδαφος και παράπλευρα αντικείμενα. Αν θεωρήσουμε ότι στην ατμόσφαιρα δεν υπάρχουν σύννεφα, τότε μπορούμε να πούμε ότι η πυκνότητα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην γήινη ατμόσφαιρα ονομάζεται αέριος μάζα ή AM. Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$, ονομάζεται ηλιακή σταθερά και σημειώνεται ως AM0. Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γής, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημιτόνου της ζενιθιακής γωνίας θ_Z , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η

ευθεία γη-ήλιος με την κατακόρυφο στο συγκεκριμένο σημείο. Ηλιακή ακτινοβολία που σημειώνεται AM1,5 με πυκνότητα περίπου 1000W/m^2 , η οποία αντιστοιχεί σε μια μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται μια κάθετη προς αυτή επιφάνεια υπό της πιο ευνοϊκές συνθήκες (μεσημέρι καλοκαιριού, καθαρή και ξερή ατμόσφαιρα), ονομάζεται ακτινοβολία ενός ήλιου και χρησιμοποιείται για την έκφραση της ισχύος αιχμής των φ/β στοιχείων, η οποία και λαμβάνεται ως η ονομαστική ισχύς αναφοράς αυτών. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα η μείωση που υφίσταται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάσταση της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο. Αυτό που αποτελεί απειλή για το πλανήτη μας είναι η υπερβολική εμφάνιση του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων.

Έχει εξακριβωθεί ότι ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας (γνωστά και ως θερμοκηπικά αέρια), επιτρέπουν την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης

ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (η οποία διαφορετικά θα απελευθερωνόταν στο Διάστημα) από τα συγκεκριμένα αέρια ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και της εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν τον μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν περίπου κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -20°C αντί για $+15^{\circ}\text{C}$ που είναι σήμερα, και η ζωή θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον στη μορφή που τη γνωρίζουμε.



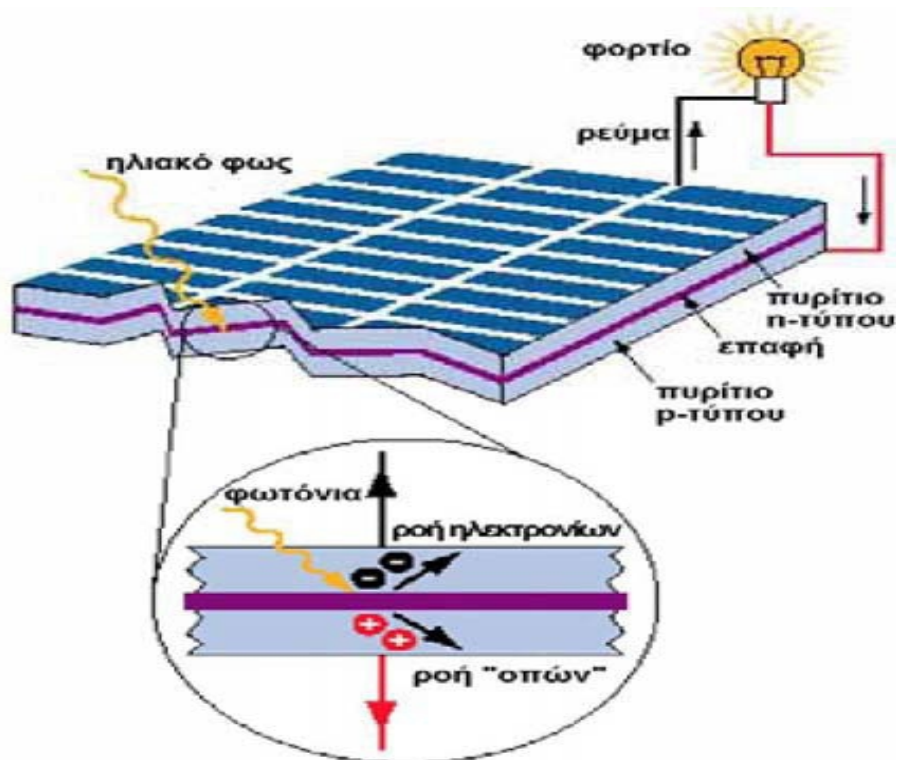
Σχήμα: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Κατά συνέπεια, το εν λόγω φαινόμενο, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα έχει ζωτική σημασία για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στους 15°C περίπου. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων αυξάνουν τη δυνατότητα της ατμόσφαιρας να παγιδεύσει την υπέρυθρη ακτινοβολία της Γης. Η αύξηση αυτή οδηγεί στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Τα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης καθώς και ο βαθμός συνεισφοράς τους αναφέρονται στις παρακάτω παραγράφους. Εμάς μας ενδιαφέρουν οι εκπομπές ρύπων που προκαλούνται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση της, άμεσα ή έμμεσα, δηλαδή από τον ενεργειακό τομέα.

2.3 Περιγραφή Φ/Β φαινόμενου

Γενικότερα τα υλικά στη φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φ/β συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Το φως του ήλιου που φθάνει στην επιφάνεια της γης

αποτελείται κυρίως από δύο συνιστώσες , συγκεκριμένα το άμεσο φώς και το έμμεσο ή διάχυτο φώς, το οποίο είναι το φώς που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα. Οι φωτοβολταικές κυψέλες χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός αλλά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και με νεφοσκεπή ουρανό. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική οφείλεται στο φωτοβολταικό φαινόμενο. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου .Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φώς είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία(οπές) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στην φωτοβολταική συσκευή. Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυσαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα όπως το παρακάτω, είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



2.4 Απορρόφηση ακτινοβολίας από το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει τελικά στο φ/β στοιχείο με τη μορφή φωτονίων δεν μπορεί εξολοκλήρου να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά μόνο κάποιο μέρος από αυτήν. Έτσι λοιπόν ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει πάνω στο φ/β στοιχείο και απορροφάται από αυτό ενώ το υπόλοιπο διαχέεται προς το περιβάλλον. Έπειτα η ενέργεια που εισχωρεί στον ημιαγωγό, ένα μέρος από αυτήν θα απορροφηθεί δηλαδή εκείνο το μέρος το οποίο και θα

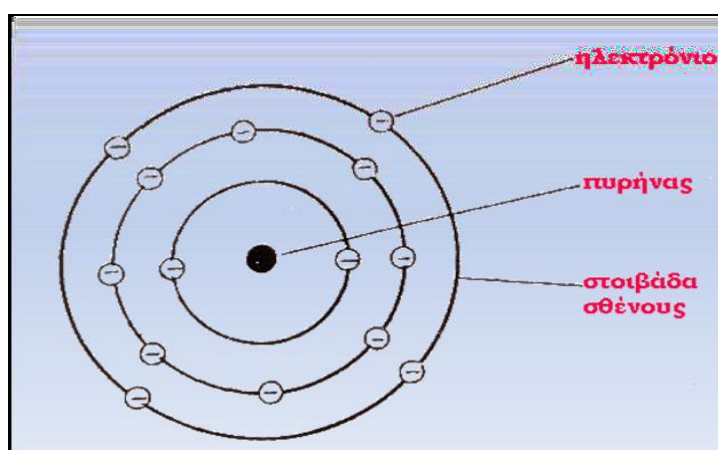
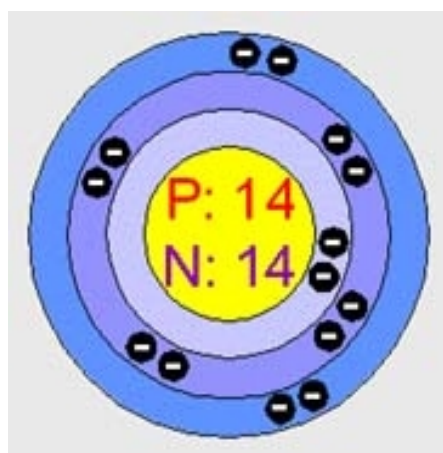
αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Τα φωτόνια αυτά θα διαπεράσουν το στοιχείο και θα περάσουν στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αυτός είναι και ο λόγος που αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία των φ/β στοιχείων. Από τη λειτουργία του φ/β φαινομένου το μέρος εκείνο της ακτινοβολίας που είναι ίσο με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει για την παραγωγή του φ/β φαινομένου. Το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι λοιπόν ένα μικρό μέρος της ηλιακής ενέργειας θα καταφέρει να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Για να μπορέσει κανείς να υπολογίσει την απόδοση ενός συστήματος ενέργειας και να αξιολογήσει τις υπάρχουσες εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις θα πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει, για την μακροχρόνια μελέτη θερμικά φορτία, απώλειες αλλά πιο σημαντικά την προσφερόμενη ενέργεια. Η ολική ακτινοβολία I_t , που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη: την άμεση I_b , που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, την διάχυτη I_d που προέρχεται από ολόκληρο τον θόλο της ατμόσφαιρας από σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας από άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωμάτια και την ανακλώμενη I_r , που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η συλλέγουσα επιφάνεια είναι κοντά σε κτίρια ή υψώματα ή είναι κεκλιμένη οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

Οι πιο συνηθισμένες μονάδες της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας δηλ. της ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας του χρόνου είναι watts/m^2 . Στο μεσημέρι μιας τυπικής μέρας με ανέφελο ουρανό πέφτει στην επιφάνεια της γης περίπου 1w/m^2 τα 20% με 25% του οποίου οφείλονται στην διάχυτη. Τα συνηθισμένα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ακτινοβολίας είναι τα πυρανόμετρα και τα πυρηλιόμετρα. Το πυρανόμετρο ,μετρά την ολική ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φ/β στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο από μονά ή διπλά γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο ,μετρά την άμεση ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου ο άξονας του οποίου διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με την βοήθεια αστροστάτη. Εκτός των οργάνων που προαναφέρθηκαν χρήσιμες πληροφορίες παρέχουν και οι ηλιογράφοι οι οποίοι μετράνε την χρονική διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξεως των 10 λεπτών της ώρας.

2.5 Η χρήση του πυριτίου στα φωτοβολταϊκά στοιχεία

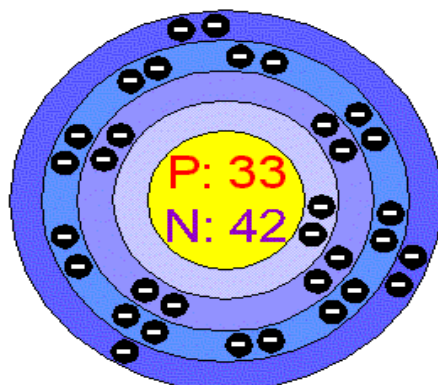
Τα υλικά που έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων(πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτούς οφείλεται η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού

είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα, ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια.



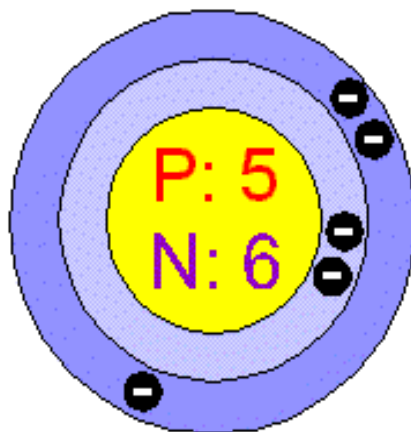
Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (συμπληρωμένη είναι με 8 ηλεκτρόνια) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους. Σε αυτή την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτό 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. Δεν επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, πλην όμως μετά από κατάλληλη επεξεργασία και σύνθεση, εξαφανίζεται η ιδιότητα αυτή και γίνονται αγωγοί με μια ελεγχόμενη και κατευθυνόμενη αγωγιμότητα. Δηλαδή επιτρέπει την διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος προς μια και μόνο κατεύθυνση μέσα από την κρυσταλλική του δομή ,ενώ αποκλείει να περάσει ρεύμα αντίθετα πάλι ,προς την άλλη κατεύθυνση. Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό

πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο, είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους τους. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (τύπου ρ) είτε σε αρνητικά φορτία (τύπου η). Για να φτιαχτεί ένας ημιαγωγός τύπου η ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το αρσένιο (As), που έχει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο στην εξωτερική του στοιβάδα σε σχέση με το πυρίτιο. Αν για παράδειγμα διοχετεύουμε ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, με τη μορφή θερμότητας, μερικά ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομα τους. Τότε δημιουργείται μια κενή θέση στο άτομο. Αυτά τα ηλεκτρόνια περιφέρονται τυχαία μέσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο ψάχνοντας να μπουν σε μια θέση. Έτσι μεταφέρουν την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Αν όμως το πυρίτιο εμπλουτιστεί με ποσότητα φωσφόρου χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ελευθερωθεί το επιπλέον ηλεκτρόνιο του φωσφόρου αφού αυτό δεν σχηματίζει δεσμό με άλλο-τα γειτονικά ηλεκτρόνια δεν το συγκρατούν. Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου.



Αρσένιο (As)

Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου N (αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος του φωτοβολταϊκού κυττάρου είναι πυρίτιο τύπου N. Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με βόριο (B) το οποίο έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί για 4 ,και μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου P.



Βόριο (B)

Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια το πυρίτιο τύπου P (θετικό) έχει ελεύθερες θέσεις. Οι θέσεις αυτές είναι ουσιαστικά απουσία ηλεκτρονίων, και έτσι μεταφέρουν αντίθετο φορτίο (θετικό) και περιφέρονται όπως και τα ηλεκτρόνια. Το ενδιαφέρον μέρος αρχίζει όταν τοποθετούμε μαζί πυρίτιο τύπου P και N. Το φωτοβλταϊκό κύτταρο έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο . Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο το κύτταρο δεν θα δούλευε. Αυτό το πεδίο σχηματίζεται όταν πυρίτιο τύπου N και P έρχονται σε επαφή. Ξαφνικά τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου N που ψάχνουν για ελεύθερες θέσεις βλέπουν τις κενές στο πυρίτιο τύπου P και τρέχουν να τις καλύψουν. Στην αρχή το πυρίτιο ήταν ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια ισορροπούσαν με τα επιπλέον πρωτόνια του φωσφόρου. Οι κενές θέσεις ισορροπούσαν με την έλλειψη πρωτονίων του

βορίου. Όταν οι κενές θέσεις και τα ηλεκτρόνια αναμειγνύονται στην ένωση πυριτίου P και N η ισορροπία ανατρέπεται. Καταλήγουμε λοιπόν ότι τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα φ/β στοιχεία ποικίλλουν, όπως και οι μέθοδοι κατασκευής τους. Συνηθισμένα υλικά είναι το μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και άμορφο πυρίτιο si, το θειούχο κάδμιο Cds κ.α.

2.6 Οι διάφοροι τύποι των φωτοβολταϊκών στοιχείων του πυριτίου

Το διαδεδομένο υλικό που χρησιμοποιείται για την δημιουργία των φ/β στοιχείων είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ένα υλικό που μπορεί να βρεθεί εύκολα στη φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το οξειδίο του πυριτίου και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης, καθώς επίσης είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον. Σημαντικό πλεονέκτημα του πυριτίου αποτελεί ότι μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι εύκολο σχετικά να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το ότι οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και τους 125 °C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η κατηγοριοποίηση των φ/β στοιχείων πυριτίου μπορεί να γίνει ανάλογα με τη δομή του υλικού, με τον τρόπο

παρασκευής του στοιχείου ή και με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται. Τα φ/β στοιχεία ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής χωρίζονται σε 3 ομάδες.

1) φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου:



Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 11-14% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία 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 βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

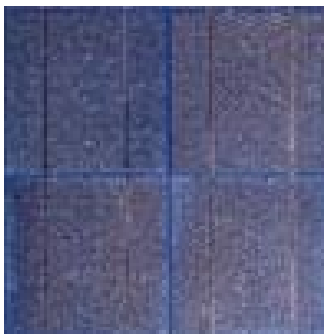
2) Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου:



Ένα φ/β στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου παρουσιάζει δομή όπου υπάρχουν πολλοί μικροί κρύσταλλοι

,προσανατολισμένοι κατά διαφορετικές διευθύνσεις όπως για παράδειγμα τα μέταλλα. Το πάχος τους είναι 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 15% για το φ/β πλαίσιο. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η ανάπτυξη φύλλων πολυκρυσταλλικού υλικού και η μέθοδος εναπόθεσης.

3) Φ/β στοιχεία ταινίας πυριτίου :



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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Γενικά

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Το βασικό στοιχείο είναι η ηλιακή κυψέλη. Πολλές ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες κατάλληλα μεταξύ τους αποτελούν τους φ/β συλλέκτες. Πολλοί συλλέκτες συνδεδεμένοι μεταξύ τους αποτελούν το φ/β πλαίσιο και πολλά τέτοια πλαίσια τη φ/β γεννήτρια. Η απόδοση του φ/β στοιχείου περιορίζεται σε πολύ μικρές τιμές ισχύος για να είναι εκμεταλλεύσιμες στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές. Γι'αυτό το λόγο συνήθως γίνεται σύνδεση πολλών φ/β στοιχείων έτσι ώστε να αποτελέσουν ένα φ/β πλαίσιο. Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μια κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα και θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως δεν μπορεί να μετατραπεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι φ/β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται στην υπέρυθη και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητας μετατροπής (20-30%). Προκειμένου να αποληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια, η φ/β κυψέλη πρέπει να προσανατολίζεται προς τον ήλιο. Εάν οι κυψέλες έχουν σταθερή βάση, πρέπει να βελτιστοποιηθεί ο προσανατολισμός τους ως προς το νότο και

η γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης κυμαίνεται σε ένα εύρος περίπου 15° του γεωγραφικού πλάτους της θέσης. Για παράδειγμα, η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα στη δυτική Ευρώπη είναι περίπου 35° . Για περιοχές πλησιέστερα στον ισημερινό αυτή η γωνία κλίσης θα είναι μικρότερη, ενώ για περιοχές πλησιέστερα στους πόλους θα είναι μεγαλύτερη. Μια απόκλιση της γωνίας κλίσης κατά 30° από τη βέλτιστη γωνία θα οδηγήσει σε απώλειες μικρότερες από το 10% της μέγιστης παραγωγής. Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια φ/β συσκευή καθορίζεται από :

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού
- Την ένταση του ηλιακού φωτός
- Το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης.

3.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το φ/β στοιχείο από μόνο του δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί σε πλήθος εφαρμογών επειδή η τάση όπως και η ισχύ του είναι πολύ μικρή με σκοπό να μην χρίζει την αποδοχή σε πλήθος εφαρμογών. Η σύνδεση σε σειρά των φ/β στοιχείων γίνεται με σκοπό να αυξηθεί η τάση ανοικτού κυκλώματος. Για

αυτό τα φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β γεννητριών τοποθετούνται , ανά 10 έως 50 περίπου ,σε ένα πλαίσιο , με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. Τα φ/β πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύεις. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4 V έως 22V και ένταση ρεύματος από 0,5 A μέχρι 2,5 A.

3.3 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα με τη μορφή στρώσεων. Τα φ/β στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους , στεγανά και μόνιμα , με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα μεταλλικό περιμετρικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φ/β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί σαν συλλέκτης στη συγκρότηση των φ/β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για

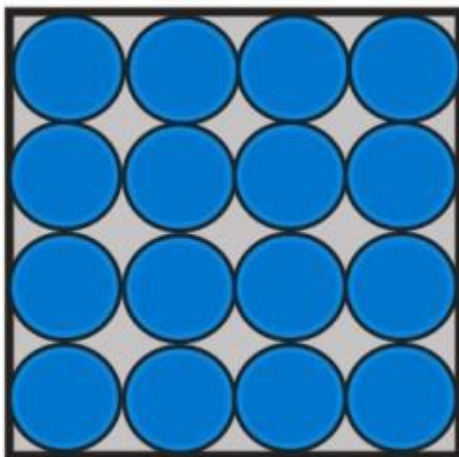
την κατασκευή του , το κόστος των φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχονται. Πριν βγουν στο εμπόριο ,τα φ/β πλαίσια υποβάλλονται σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις , καθώς και σε δοκιμασία 5ήμερης συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95°C , για να ελεγχθεί η στεγανότητα τους.

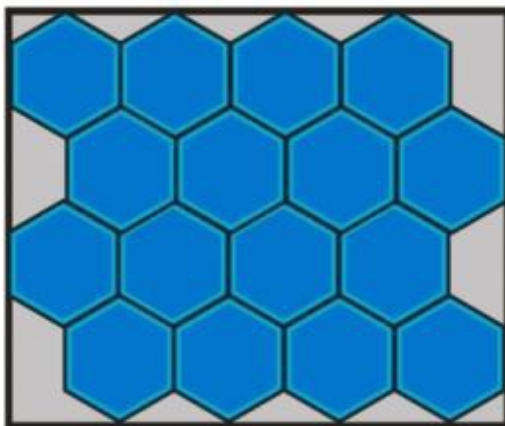
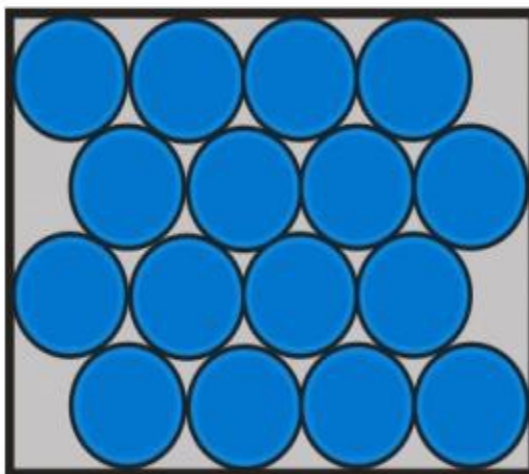
3.4 Αποδόσεις φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η απόδοση του κάθε φ/β πλαισίου εξαρτάται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων που το αποτελούν (τάση ,ισχύς κλπ.) . Ο συντελεστής απόδοσης του φ/β πλαισίου (ηπ) εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φ/β πλαίσιο (Pπ) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του s. Επίσης ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το φ/β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το χρονικό διάστημα .Οπότε ισχύει ότι : $\eta_{\pi} = P_{\pi} / H_s$ [w / (w/m²) m²] και $\eta_{\pi} = E / \pi s$ [kw / (kw/m²) m²]

(Με π συμβολίζεται η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου). Η τιμή του συντελεστή απόδοσης ηπ εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (η), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης

του πλαισίου (σχ), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων , δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας , προς την συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Άρα ισχύει η σχέση : $\eta_{\text{π}} = \eta \cdot \sigma_{\text{κ}}$. Η τιμή του $\sigma_{\text{κ}}$ εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Η μορφή και η τοποθέτηση των φ/β στοιχείων στο πλαίσιο ήταν αρχικά κυλινδρική όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, και προέκυπτε από την διαδικασία της παρασκευής της ράβδου πυριτίου με τη μέθοδο Czochralski.





Η τοποθέτηση των στοιχείων με αυτή την μορφή έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο μέρος της επιφάνειας του

πλαisiού που δεν χρησιμοποιείται. Για τον λόγο αυτό τα φ/β στοιχεία στα φ/β πλαίσια έχουν πλέον τετραγωνικό σχήμα ή την μορφή κυψελίδας με σκοπό να αυξάνεται η περιοχή κάλυψης του φ/β πλαisiού.

3.5 Επίδραση εξωτερικών παραμέτρων

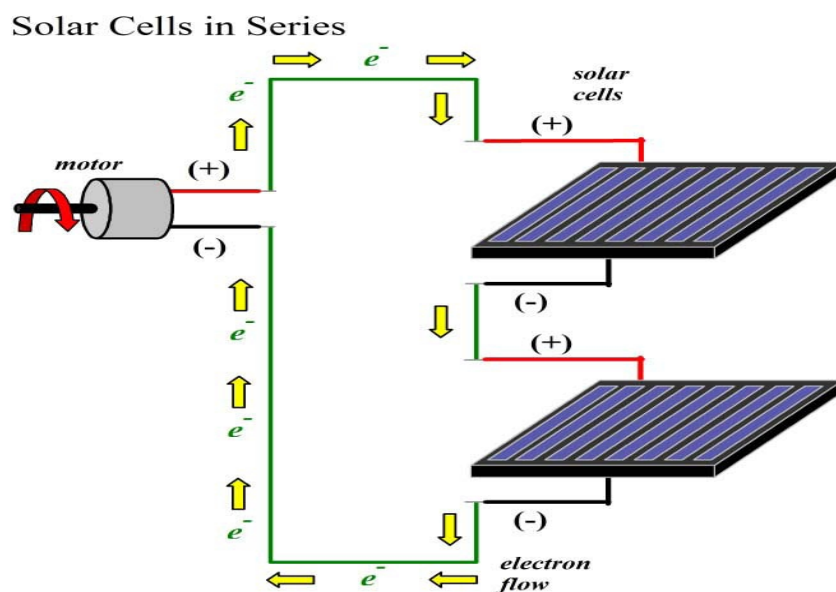
Η απόδοση των φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία. Όμως ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία 20°C που κατά τους θερινούς μήνες διαφέρει από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Για να υπολογίσουμε το συντελεστή απόδοσης των στοιχείων, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστής απόδοσης των φ/β πλαisiών παίρνουμε το γινόμενο $\eta_p \cdot \sigma_{th}$. Σε συμβατική θερμοκρασία ο σ_{th} είναι ίσος με τη μονάδα, και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πρόσπτωση ηλιακής ενέργειας πάνω στο συλλέκτη, σε σχέση με τον προσανατολισμό μπορούμε να πούμε ότι θεωρητικά, ο νότιος προσανατολισμός είναι τέλειος πλην μια απόκλιση 15° προς ανατολή ή δύση δεν επηρεάζει πρακτικά το ολικό αποτέλεσμα. Σε μερικές περιπτώσεις τοπικές συνθήκες περιοδικών νεφώσεων μπορεί να επιβάλλουν μια αντίστοιχη απόκλιση από τον ακριβή νότο. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να

μειώσει την παραγωγή των φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας του από την επικαθίση σκόνης, φύλλων, χιονιού, λατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι από τη σκόνη που μοιραία θα επικαθίζει στην έξω επιφάνεια του γυαλιού και θα απορροφήσει ένα μικρό ποσό ακτινοβολίας. Μια συνηθισμένη επικαθίση σκόνης προκαλεί σχετικά μικρό ποσοστό απώλειας ενέργειας, < 4% ίσως επειδή αντισταθμίζει την απώλεια διαφάνειας στις ώρες της κάθετης πρόσπτωσης της ακτινοβολίας με κάποια διάχυση που προκαλεί όταν η πρόσπτωση είναι με μεγάλη γωνία και την επακόλουθη μείωση της αντανάκλαστικότητας της επιφάνειας. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνει περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φ/β πλαισίων.

3.6 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για την καλύτερη απόδοση των φ/β στοιχείων, τα φ/β πλαίσια συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα είτε με τη μικτή σύνδεση.

3.6.1 Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά



Copyright © 2004 www.makeitsolar.com All rights reserved.

Η σύνδεση των φ/β πλαισίων σε σειρά χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου και απαιτείται τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φ/β πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση των φ/β στοιχείων σε σειρά γίνεται με την σύνδεση του θετικού πόλου του ενός πλαισίου ο οποίος και συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επόμενου και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα τα πλαίσια. Έτσι τελικά προκύπτει μια φωτοβολταϊκή συστοιχία από φ/β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Η σύνδεση λοιπόν όμοιων φ/β πλαισίων οδηγεί σε ένα φ/β σύστημα το οποίο και αποτελείται από την

ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος, η οποία και θα ισούται με το άθροισμα των τάσεων όλων των σε σειρά φ/β πλαισίων, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του κάθε φ/β πλαισίου θα είναι το ίδιο με το ρεύμα αυτό της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Έτσι για N όμοια φ/β πλαίσια ισχύει :

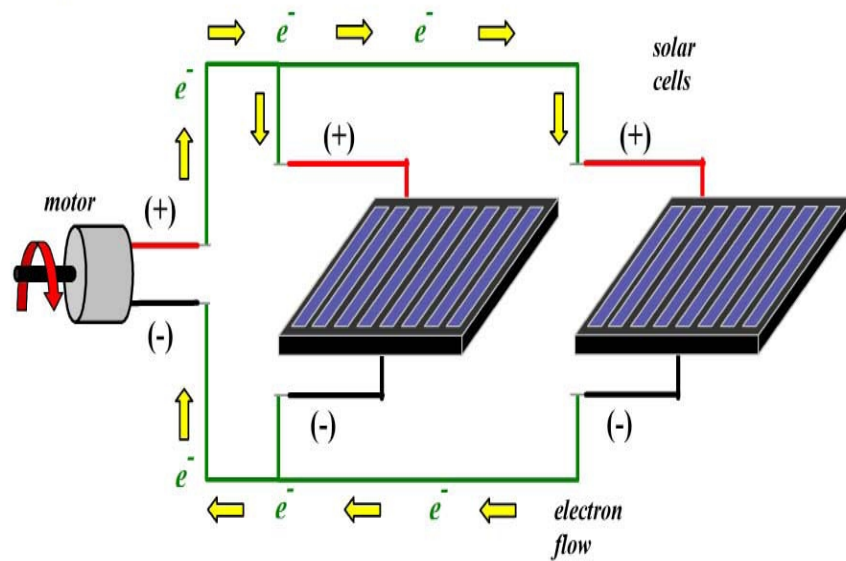
$$V=V_1=V_2=V_3=\dots=V_N$$

$$I=I_1=I_2=\dots=I_N$$

Το ρεύμα σε μια εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο της συνδεσμολογίας, ίδιο με αυτό που παράγεται από μια κυψέλη . Εάν μια κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος συνδεθεί σε μια συνδεσμολογία με άλλες κυψέλες που έχουν χαρακτηριστικά υψηλότερου ρεύματος, η συνδεσμολογία θα περιοριστεί στο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος. Η τάση σε μια εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας ότι οι κυψέλες είναι όμοιες, η τάση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο : $V_{σειράς} = (\text{αριθμός κυψελών}) \cdot (V_{\max} \text{ μιας κυψέλης})$. Η παραγόμενη ισχύς από μια συνδεσμολογία κυψελών ισούται με το ρεύμα της συνδεσμολογίας πολλαπλασιαζόμενο με την τάση της. Οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις, αλλά κάθε μια κυψέλη θα λειτουργεί με το ίδιο ρεύμα όπως και οι άλλες στη συνδεσμολογία.

3.6.2 Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα

Solar Cells in Parallel



Copyright © 2004 www.makeitsolar.com All rights reserved.

Η παράλληλη σύνδεση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου και απαιτείται ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει το κάθε φ/β πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση των φ/β στοιχείων παράλληλα γίνεται με την σύνδεση του θετικού πόλου του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με τον θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό πόλο του άλλου πλαισίου, και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα τα πλαίσια. Έτσι τελικά προκύπτει μια φ/β συστοιχία από φ/β πλαίσια συνδεδεμένα παράλληλα. Τα

φ/β πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα συνήθως είναι όμοια, έχουν την ίδια τάση ανοιχτού κυκλώματος και την ίδια τάση μέγιστης ισχύος. Το συνολικό ρεύμα μιας τέτοιας συστοιχίας όμοιων φ/β πλαισίων είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε φ/β πλαισίου, ενώ η τάση κάθε φ/β πλαισίου είναι και η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Για N όμοια φ/β πλαίσια ισχύει :

$$I=I_1+I_2+\dots+I_N$$

$$V=V_1=V_2=V_3=\dots=V_N$$

Αν στην περίπτωση της παράλληλης σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων κάποιο ή κάποια φ/β πλαίσια, παρουσιάσουν για κάποιο λόγο μικρότερη απόδοση, τότε στην περίπτωση αυτή η αντίσταση του φορτίου R που είναι συνδεδεμένη παράλληλα στη φ/β συστοιχία είναι σχετικά μικρή, η τάση τόσο των μη όμοιων όσο και των όμοιων φ/β πλαισίων είναι ίδια με αυτή της φ/β συστοιχίας ενώ τα ρεύματα των μη όμοιων και των όμοιων φ/β πλαισίων είναι θετικά και προστίθενται για να δώσουν το ρεύμα της φ/β συστοιχίας. Εάν όμως η αντίσταση του φορτίου R με το οποίο είναι συνδεδεμένη η παράλληλη αυτή σύνδεση των φ/β πλαισίων είναι σχετικά μεγάλη, ενώ η τάση τόσο των μη όμοιων όσο και των όμοιων φ/β πλαισίων είναι πάλι ίδια με αυτή φ/β συστοιχίας, τα ρεύματα των μη όμοιων φ/β πλαισίων είναι αρνητικά και προστιθέμενα με τα ρεύματα των όμοιων φ/β πλαισίων για να δώσουν το ρεύμα της φ/β συστοιχίας στην ουσία αφαιρούνται. Όσο

περισσότερα γίνουν τα όμοια φ/β πλαίσια σε σχέση με τα μη όμοια, τόσο πιο μεγάλη πρέπει να γίνει η R για να λειτουργούν τα μη όμοια φ/β πλαίσια ως καταναλωτές.

3.7 Διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων

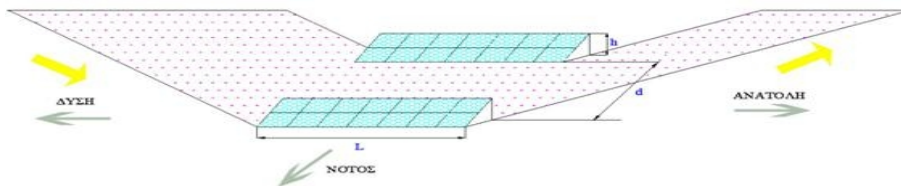
Η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι 45 με 50 χρόνια. Εξαρτάται από το περιβάλλον που εργάζονται.

3.8 Τοποθέτηση και χωροδιάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού συγκροτήματος, από το πιο μικρό (π.χ. οικιακή εφαρμογή) έως το πιο μεγάλο (π.χ. φωτοβολταϊκό πάρκο), πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην τοποθέτηση των συστοιχιών. Όταν οι συστοιχίες τοποθετούνται η μια πίσω από την άλλη παρουσιάζεται το πρόβλημα της σκίασης. Η συστοιχία που βρίσκεται μπροστά από μία άλλη ρίχνει την σκιά της στην αμέσως επόμενη. Όσο μακριά και να τοποθετηθεί η μια από την άλλη, κάποια στιγμή της ημέρας θα σκιάζεται. Για αυτό το λόγο οι συστοιχίες τοποθετούνται σε απόσταση τέτοια ώστε η σκίαση να είναι η ελάχιστη. Όμως η χαμηλότερη σειρά πλαισίων θα σκιάζεται κατά την ανατολή και τη δύση. Κατά την σκίαση όμως η ενεργειακή τους απόδοση μηδενίζεται και για αυτό χρησιμοποιούνται δίοδοι παράκαμψης σε κάθε Φ/Β πλαίσιο. Μία ιδέα για την τοποθέτηση των συστοιχιών θα ήταν η

απόσταση μεταξύ των συστοιχιών να είναι ίση με το μέγιστο μήκος της μεσημεριανής σκιάς κατά την διάρκεια του έτους, στις 21 Δεκεμβρίου. Η λύση αυτή είναι ενεργειακά ασύμφορη, διότι πριν και μετά το μεσημέρι, η σκιά θα καλύπτει μεγάλο μέρος της συστοιχίας.

Γι' αυτό το λόγο η μελέτη γίνεται έτσι ώστε η απώλεια ισχύος να μην ξεπερνά ένα καθορισμένο ποσοστό, π.χ 5%, αν και κατά την ανατολή και τη δύση για κάποιο χρονικό διάστημα η πίσω συστοιχία θα σκιάζεται. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η ενεργειακή απολαβή κατά τη διάρκεια όλου του έτους και το σύνολο και η έκταση των συστοιχιών να είναι η ελάχιστη.



Για να χωροθετηθούν οι Φ/Β συστοιχίες είναι απαραίτητο να είναι γνωστός ο λόγος

$$r = d/h$$

του διάκενου μεταξύ των διαδοχικών συστοιχιών προς το ύψος των συστοιχιών, σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος, όπου d η απόσταση των διαδοχικών συστοιχιών και h το ύψος της πίσω πλευράς τις συστοιχίας. Όσο μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος

του τόπου το r αυξάνεται άρα μειώνεται το πλήθος των διαδοχικών σειρών Φ/B , ανά μονάδα επιφανείας. Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου r , σε κάθε τόπο, κατασκευάζονται διαγράμματα με το γεωγραφικό πλάτος και το ποσοστό απωλειών. Συνήθως στα διαγράμματα παρουσιάζονται δυο ποσοστά π.χ. 5% και 10%.

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών είναι πολλές και προσαρμόζονται σε κάθε απαίτηση. Εκτός τις απλές εφαρμογές για παραγωγή ενέργειας που τοποθετούνται στο έδαφος, υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν στις στέγες, στις προσόψεις κτιρίων και όπου αλλού υπάρχει δυνατότητα και διαθέσιμος χώρος.

3.9 Βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τρεις είναι οι κύριοι τρόποι στήριξης των πλαισίων και διακρίνονται ανάλογα με την ενεργειακή απολαβή:

- Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη
- Εποχιακά ρυθμιζόμενη κλίση
- Συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης ηλιοτρόπιο – trackers

3.9.1. Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια πχ. προσόψεις, στέγες.



Εικόνα: Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια

Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος

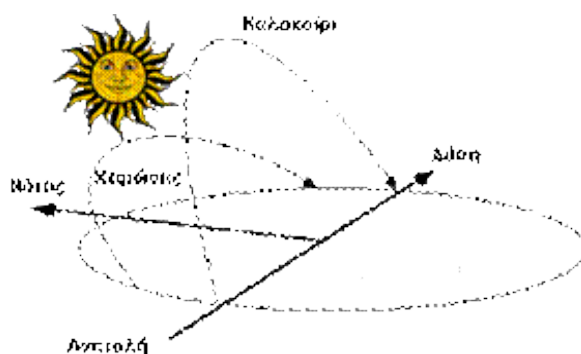
αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο). Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το λ του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.



Εικόνα: Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{\epsilon\lambda}=(90^{\circ}-\lambda)-23,5^{\circ}$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{\mu\epsilon\gamma}=(90^{\circ}-\lambda)+23,5^{\circ}$ (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5^{\circ}$ έως $+23,5^{\circ}$.

Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνιά λ του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.



Εικόνα: Οι θέσεις του ηλίου κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo του εδάφους (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη

επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.



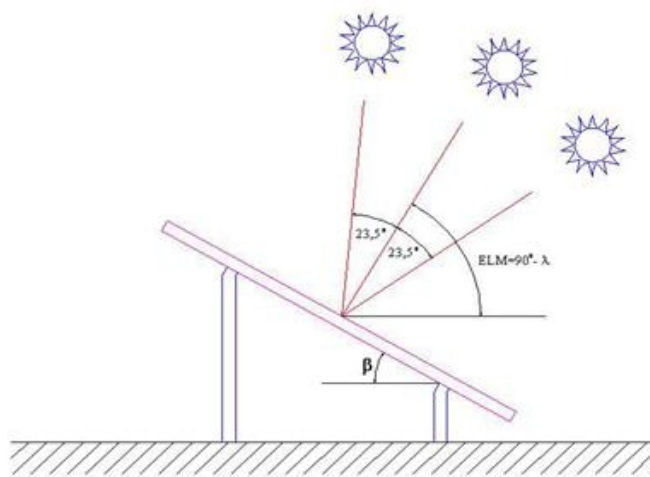
Εικόνα: Φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετημένα με σταθερή γωνία κλίσης

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (>200) βρίσκεται στην περιοχή $\lambda-(10^{\circ}\div 15^{\circ})$.
- Για τόπους με μικρά λ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι 0° . Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία $5^{\circ}\div 10^{\circ}$ ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να

απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).

- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta = \lambda - 10^\circ$.
- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda + 15^\circ$. Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta = \lambda - 15^\circ$.
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.



Σχήμα: Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης

3.9.2. Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνιάς κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση. Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90° . Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και το albedo του εδάφους όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

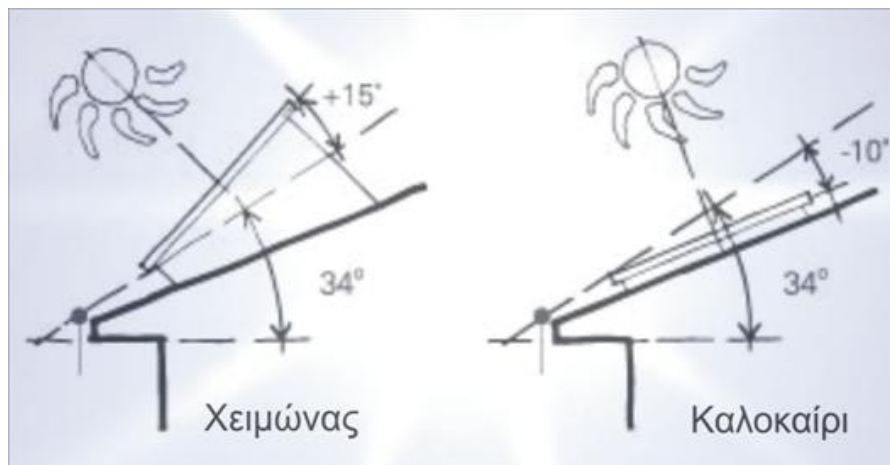
Συμπέρασμα:

- Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι $\beta = \lambda + (10^\circ \div 15^\circ)$.

- Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda - (10^\circ \div 15^\circ)$.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση:

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.



Σχήμα: Στήριξη με δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας κλίσης

3.9.3. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μικρή απολαβή ενεργείας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μοιάζουν αρκετά με το φυτό ηλιοτρόπιο ή ηλίανθος, από όπου πήραν και το όνομα τους. Τα ηλιοτρόπια (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τα ηλιοτρόπια υπάρχει μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος 30% - 50%, σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες ηλιοτροπίων ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

- Στροφή γύρω από έναν άξονα
- Στροφή γύρω από δύο άξονες

3.9.3.1 Στροφή γύρω από Έναν Άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ'όλη την ημέρα καταλήγοντας στην δύση. Διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

- Το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο
- Το πολικό ηλιοτρόπιο

3.9.3.2 Αζιμουθικό Ηλιοτρόπιο

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη. Δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους. Δηλαδή τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους.

Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 25-35%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.



Εικόνα: Αζιμουθιακά ηλιοτρόπια

3.9.3.3 Πολικό Ηλιοτρόπιο (polar tracker)

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά την διάρκεια του έτους η γωνιά μεταξύ των ακτινών του

ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται από $-23,5^{\circ}$ έως $+23,5^{\circ}$.

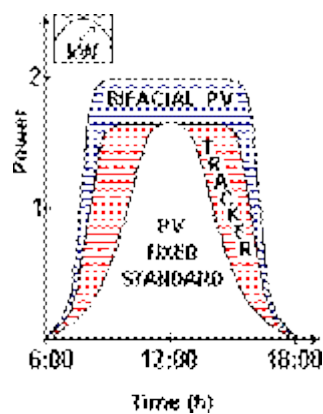
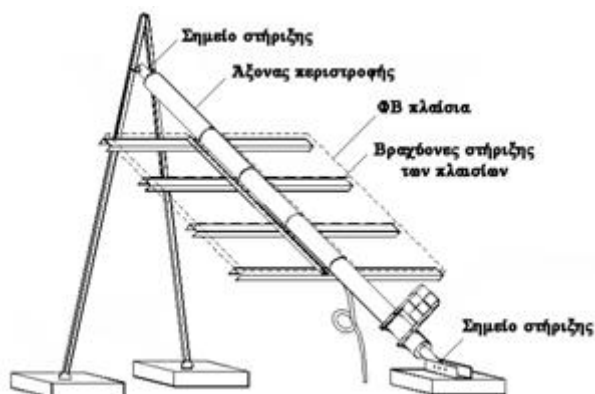
Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα την εποχή του έτους.



Εικόνες: Πολικό ηλιοτρόπιο

Είναι σχετικά απλά στην κατασκευή και στον έλεγχο. Μειονεκτούν σημαντικά όσο αφορά την αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για την προστασία τους χρειάζονται ισχυρά συστήματα πέδησης. Επίσης τα πλαίσια δεν τοποθετούνται ομοιόμορφα, αλλά σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος τοποθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος. Πολλές φορές τοποθετούνται και κάτοπτρα για

την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες.



Σχήματα: Διαγράμματα παραγομένης ενέργειας με σταθερή τοποθέτηση ΦΒ, με χρήση ηλιοτροπίου και με ηλιοτρόπιο με ενσωματωμένους καθρέπτες



Εικόνα: ΦΒ Πάρκο με ηλιοτρόπια

Ο έλεγχος των συστημάτων αυτών γίνεται με δυο τρόπους:

- Με ηλεκτρονικό αυτόματο έλεγχο
- Με πνευματικό αυτόματο έλεγχο

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος γίνεται με δυο τρόπους:

- Με χρήση οπτικών αισθητήρων
- Με χρήση Η/Υ και κατάλληλο λογισμικό

Η χρήση οπτικών αισθητήρων βασίζεται στην ανίχνευση της κίνησης του ήλιου.

Οι αισθητήρες (φωτοδίοδοι, φωτοαντιστάσεις, φωτοβολταϊκά πλαίσια) τοποθετούνται με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να αντιλαμβάνονται την κίνηση του ηλίου από την μεταβολή της σκίασης στους αισθητήρες.



Εικόνα: Πολικό ηλιοτρόπιο με ενσωματωμένους ανακλαστήρες για αύξηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Διακρίνεται και το μικρό Φ/Β που χρησιμοποιείται σαν αισθητήρας για τον προσδιορισμό της θέσης

Συνήθως τοποθετείται κάθετα στους συλλέκτες ένα έλασμα και οι αισθητήρες τοποθετούνται δεξιά και αριστερά του ελάσματος. Επίσης υπάρχει δυνατότητα χρήσης φωτοβολταϊκών στοιχείων τοποθετημένων πλάτη με πλάτη κάθετα στους συλλέκτες. Τα σήματα από τους αισθητήρες οδηγούνται σε διαφορικό ενισχυτή ο οποίος με την σειρά του οδηγεί τον κινητήρα του συστήματος. Ο κινητήρας συνήθως είναι βηματικός ή σερβοκινητήρας και η κίνηση μεταδίδεται μέσω μειωτήρων. Το σύστημα είναι αρκετά απλό και οικονομικό με σοβαρά όμως μειονεκτήματα. Σε ημέρες με αραιή ή αρκετή συννεφιά το σύστημα είναι αναξιόπιστο. Οι αισθητήρες αδυνατούν να αναγνωρίσουν την πραγματική θέση του ηλίου καθώς δέχονται ακτινοβολία από διάφορες θέσεις. Επίσης αντανάκλασεις από διερχόμενα οχήματα ή τζάμια κτιρίων μπορούν να επηρεάσουν το σύστημα. Με κατάλληλα ηλεκτρονικά υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπισθούν όλα αυτά τα προβλήματα αυξάνοντας βέβαια την πολυπλοκότητα και το αρχικό κόστος του συστήματος. Για να αποφύγουμε τα προβλήματα αυτά εκμεταλλευόμαστε τις δυνατότητες των Η/Υ. Με την χρήση αλγορίθμων ορίζουμε την ακριβή θέση που πρέπει να βρίσκεται το ηλιοτρόπιο. Δυο είναι οι βασικοί τρόποι ελέγχου των συστημάτων αυτών, με την επίλυση των εξισώσεων της θέσεως του ηλίου ή με προσδιορισμό των θέσεων του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προσωπικό Η/Υ ή μικροϋπολογιστή (microcontroller) για να οδηγήσουμε τον κινητήρα. Σε μικρά συστήματα, όπως οικιακές εφαρμογές γίνεται χρήση μικροϋπολογιστή καθώς είναι πιο οικονομικός και καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο. Σε μεγάλα πάρκα η χρήση υπολογιστή είναι αναγκαία για την λειτουργία των συστημάτων αυτών, καθώς ελέγχονται πολλές παράμετροι εκτός από την θέση του ηλιοτροπίου.

Η χρήση Η/Υ είναι η καλύτερη και πιο αξιόπιστη λύση καθώς η κίνηση του ηλιοτροπίου βασίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις και όχι στην ακτινοβολία η οποία μπορεί να προέρχεται από πολλά σημεία του ουράνιου θόλου.

Ο πνευματικός έλεγχος βασίζεται στην τροποποίηση της ισορροπίας ενός πνευματικού συστήματος, εξαιτίας διαφορικής θέρμανσης από τον ήλιο. Το σύστημα αποτελείται από δυο δοχεία με υγρό και έναν υδραυλικό σερβοκινητήρα. Τα δοχεία συνδέονται με αγωγό και ο κινητήρας σε σειρά με τον αγωγό. Το ένα δοχείο θερμαίνεται περισσότερο από το άλλο, το ένα σκιάζεται το άλλο όχι, αυξάνοντας την θερμοκρασία του. Αυτό αυξάνει την πίεση στο δοχείο με αποτέλεσμα την ροή του υγρού από το ένα δοχείο στο άλλο και την περιστροφή του κινητήρα.

Είναι ένα σχετικά αρκετά αξιόπιστο σύστημα με μεγάλο κόστος.

Παρουσιάζει πρόβλημα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή.

Τα ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από δυο άξονες παρακολουθούν και τις δυο κινήσεις του ήλιου, αζιμούθιο και ύψος (elevation). Η συστοιχία στρέφεται γύρω από δυο άξονες, ξεκινώντας από την ανατολή το πρωί και καταλήγοντας στην δύση το απόγευμα. Η κατασκευαστική διαφορά του ηλιοτροπίου δυο αξόνων είναι η χρήση δυο συστημάτων κίνησης, ένα για κάθε κίνηση.



Εικόνα: Ηλιοτρόπιο δυο αξόνων

Λόγω της παρακολούθησης του ηλίου και στους δυο άξονες, οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, κάτι που κάνει το σύστημα αυτό πιο αποδοτικό σε σχέση με τα άλλα. Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος φτάνει και το 50% σε σχέση με την

σταθερή στήριξη. Η απόδοση του φτάνει το 99,9%. Βεβαίως το κόστος του είναι αρκετά υψηλότερο λόγω της χρήσης διπλών ηλεκτρονικών συστημάτων και της περίπλοκης μηχανολογικής κατασκευής.



Εικόνα: Ηλιοτρόπιο δυο αξόνων

Ο έλεγχος κίνησης του ηλιοτροπίου γίνεται ηλεκτρονικά, όπως και στα ηλιοτρόπια ενός άξονα, με την χρήση αισθητήρων ή με χρήση Η/Υ. Η χρήση της μεθόδου των αισθητήρων βασίζεται στην σκίαση των αισθητήρων σε δυο άξονες. Τοποθετούνται δύο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της αζιμουθιακής κίνησης του ηλιοτροπίου και δυο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της γωνιάς του ύψους. Όταν ο έλεγχος γίνεται με Η/Υ τότε οι εξισώσεις που επιλύονται αφορούν το ύψος και το αζιμούθιο.

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου, το παραγόμενο φωτόρευμα είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της έκτασης της επιφάνειας του. Μια πολύ καλή ιδέα είναι να μειωθεί η έκταση του Φ/Β και αυξηθεί η πυκνότητα ισχύος (αν μειώσουμε N φορές την επιφάνεια του Φ/Β και αυξήσουμε N φορές την πυκνότητα ισχύος, το φωτόρευμα θα παραμένει το ίδιο).

Σε πλαίσια ειδικού τύπου, το Φ/Β στοιχείο έχει πολύ μικρή επιφάνεια με τετραγωνική μορφή ή μορφή ταινίας. Μπροστά από κάθε ένα τοποθετείται συγκεντρωτικός φακός τύπου Fresnel, ο οποίος εστιάζει την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στο Φ/Β. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την παραγωγή ισχύος με μικρότερη ενεργή επιφάνεια Φ/Β. Ο φακός κατασκευάζεται από γυαλί ή διαφανές πλαστικό.

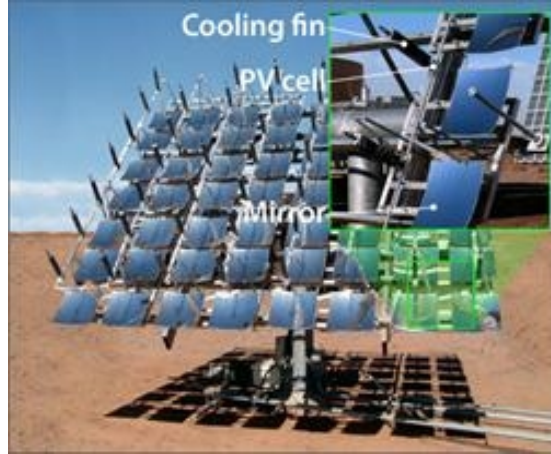
Ένας άλλος τρόπος είναι με την χρήση κατόπτρων. Παραβολικά κάτοπτρα τοποθετούνται έτσι ώστε να κοιάνε τον ήλιο. Στο σημείο εστίασης των ακτινών τοποθετείται το Φ/Β στοιχείο.



Εικόνα 1: Ηλιοτρόπιο με συγκεντρωτικά Φ/Β πλαίσια



Εικόνα 2: Ηλιοτρόπια με παραβολικά κάτοπτρα



Εικόνα 3: Ηλιοτρόπια 2 αξόνων με παραβολικά κάτοπτρα



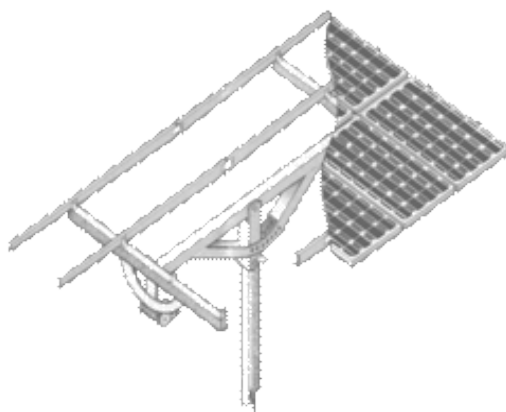
Εικόνα 4: Πολικό ηλιοτρόπιο με συγκεντρωτικά πλαίσια

Με τις μεθόδους αυτές παρουσιάζεται όμως ένα σημαντικό πρόβλημα. Η θερμοκρασία του στοιχείου αυξάνεται σημαντικά με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης. Έτσι γίνεται απαραίτητη η ψύξη του στοιχείου. Συνήθως τοποθετείται πάνω σε ψήκτρες και με φυσική ροή αέρα η θερμοκρασία διατηρείται σε φυσιολογικά επίπεδα. Υπάρχουν βεβαία και συστήματα με βεβιασμένη ροή αέρα ή με ψυκτικό υγρό.

Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία των πλαισίων αυτών, είναι οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στη Φ/Β συστοιχία. Έτσι γίνεται αναγκαία η χρήση ηλιοτροπίων. Εκτός από τα ηλιοτρόπια δυο αξόνων χρησιμοποιούνται και αζιμουθιακά και πολικά ηλιοτρόπια. Έχουν πολύ υψηλό κόστος κατασκευής των συστημάτων εστίασης, προβλήματα ψύξης και απαιτείται πολύ συχνή συντήρηση.

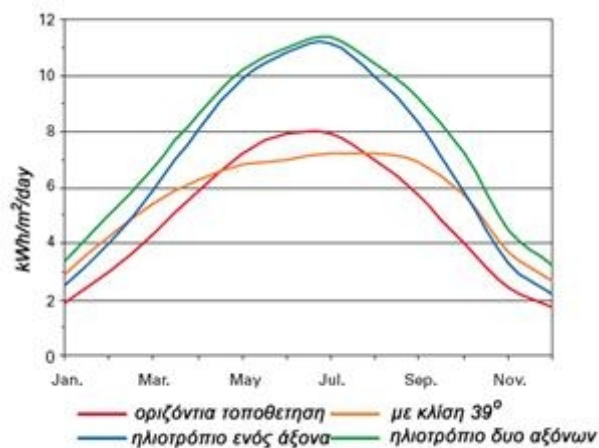
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχουν αρκετοί τύποι ηλιοτροπίων οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν για να καλύψουν τις υπάρχουσες ανάγκες. Για μια οικιακή ή λίγο μεγαλύτερη εφαρμογή, μπορεί να επιλεγεί ένα αζιμουθιακό ή πολικό ηλιοτρόπιο καθώς το κόστος του συστήματος είναι μικρό. Σε μεγάλα όμως Φ/Β πάρκα, όπου η βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας είναι ένα κρίσιμο θέμα, η επιλογή του ηλιοτροπίου δυο αξόνων είναι η καταλληλότερη. Το κόστος αυτών των συστημάτων είναι απαγορευτικό για ένα τέτοιο έργο. Έτσι καταφεύγουμε σε μια μέση λύση. Γίνεται χρήση

αζιμουθιακού ηλιοτροπίου με χειροκίνητη ρύθμιση της γωνίας κλίσης.



Εικόνα: Ηλιοτρόπιο με χειροκίνητη αλλαγή γωνίας κλίσης

Δηλαδή η αζιμουθιακή κίνηση του ηλιοτροπίου γίνεται αυτόματα, ενώ η ρύθμιση της κλίσης γίνεται χειροκίνητα. Η ρύθμιση της κλίσης γίνεται ανά χρονικά διαστήματα κατάλληλα υπολογισμένα (ανά 1-3-6 μήνες) ανάλογα με τις απαιτήσεις.



Εικόνα: Παραγόμενη ενέργεια από διάφορους τύπους στήριξης
ΦΒ συλλεκτών

Είναι μια οικονομική λύση καθώς χρησιμοποιείται ένα μόνο σύστημα κίνησης με κόστος 1000-1300€/kW. Η επιπλέον ενέργεια ανέρχεται στο 35-45%, σε σχέση με την ενέργεια που παράγεται από σταθερούς συλλέκτες.

Συγκριτικός πίνακας ηλιοτροπίων

Τύπος ηλιοτροπίου	2 Αξόνων	1 Άξονα	1 Άξονα-χειροκίνητος	Πολικό	Σταθερή στήριξη
Άυξηση της παραγόμενης ενέργειας (%)	50	25-35	35-45	40	0
Συντήρηση	Πολύ συχνή	Συχνή	Συχνή	Συχνή	Σπάνια
Κόστος συστήματος (€/Kw)	2000	1000	1000-1300	1000	
Χρήση	Μικρές εφαρμογές	Σε όλες της εφαρμογές	Μεσαίες και μεγάλες εφαρμογές	Μικρές και μεσαίες εφαρμογές	Σε όλες της εφαρμογές

Ο άνεμος είναι ίσως ο μοναδικός εχθρός των ηλιοτροπίων. Λόγω των κινουμένων μερών παρουσιάζεται ο κίνδυνος καταστροφής τους από δυνατό άνεμο. Για το λόγο αυτό πρέπει κατά τη τοποθέτησή τους να προβλέπεται κατάλληλη στερέωση. Σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται χρήση ανεμομέτρου έτσι ώστε σε περίπτωση ισχυρών ανέμων το ηλιοτρόπιο να βρίσκεται σε οριζόντια θέση (για ηλιοτρόπια δυο αξόνων) ή σε θέση όπου παρουσιάζεται η μικρότερη μετώπη με τον αέρα. Η θέση αυτή, κατά κανόνα, είναι η νότια θέση αναφοράς. Σε αυτή τη θέση βρίσκεται και κατά τη διάρκεια της νύχτας, από τη δύση έως την ανατολή. Η θέση αναφοράς για τα ηλιοτρόπια είναι ο αληθής νότος (για τα ηλιοτρόπια δυο αξόνων εκτός από τον αληθή νότο, ορίζουμε και μια γωνία αναφοράς π.χ 20ο). Έτσι κατά την τοποθέτηση πρέπει να προσδιοριστεί σωστά ο νότος για να την αποφυγή σφαλμάτων κατά την λειτουργία της συσκευής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε ηλιοτρόπια που ελέγχονται μέσω υπολογιστή. Σε περίπτωση λανθασμένου προσανατολισμού θα υπάρχει μειωμένη απόδοση κατά την λειτουργία, καθώς ο προσανατολισμός αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον υπολογισμό της κατάλληλης γωνίας. Ο προσδιορισμός του αληθούς νότου μπορεί να γίνει με ηλεκτρονικά όργανα (GPS), με μαγνητική ή γυροσκοπική ή ηλεκτρονική πυξίδα και με προσδιορισμό του ηλιακού μεσημεριού. Από τη θέση αναφοράς γίνεται ο υπολογισμός της θέσης στην οποία πρέπει να

βρίσκεται το ηλιοτρόπιο κατά την ανατολή για να ξεκινήσει η παρακολούθηση του ήλιου. Για να αντιληφθεί το σύστημα την θέση αναφοράς χρησιμοποιείται διακόπτης ο οποίος ενεργοποιείται με την κίνηση του ηλιοτροπίου. Διακόπτες τοποθετούνται επίσης, στις οριακές θέσεις που παίρνει το σύστημα, για προστασία του, καθώς κατά την λειτουργία του μπορεί να παρουσιαστεί βλάβη και να κινηθεί πέρα από τα όρια του. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται συχνά στην περίπτωση του ελέγχου μέσω αισθητήρων φωτός, λόγω των ανακλώμενων ακτίνων. Ο προσδιορισμός της σωστής γωνίας του συλλέκτη γίνεται με αισθητήρες θέσης ή περιστροφής (encoders). Υπάρχουν αρκετά είδη αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες μας. Κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα την αρχή λειτουργίας τους: οπτικοί, μαγνητικοί και ηλεκτρικής τάσης (ποτενσιόμετρα). Τελευταία έχουν εμφανιστεί αισθητήρες οι οποίοι αντιλαμβάνονται την αλλαγή του μαγνητικού πεδίου της γης όταν αλλάζουν θέση. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια ενώ μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος αγοράς και η επίδραση τους με χαλύβδινα αντικείμενα. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υλικά από ανοξείδωτο χάλυβα και αλουμίνιο.

Κεφάλαιο 4 Οι απώλειες στα φωτοβολταικά συστήματα

4.1 Γενικά για τις απώλειες στα φωτοβολταικά συστήματα

Για την σωστή επιλογή των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην εγκατάσταση , καθώς και για τον υπολογισμό της επιφάνειας των πλαισίων της εγκατάστασης αλλά και των άλλων μερών που απαιτούνται για την διασύνδεση με το δίκτυο ενός διασυνδεδεμένου φ/β πάρκου , εκτός από τις απώλειες οι οποίες και προέρχονται από την αύξηση της θερμοκρασίας του πλαισίου ή από την ρύπανση του πλαισίου , θα πρέπει να μελετήσουμε και τις ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φ/β πλαίσια και τις φ/β συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις με τα άλλα μέρη του φ/β συστήματος . Πολλές και μεγάλες απώλειες μπορεί και να οφείλονται στην λειτουργία αυτών των μερών του συστήματος ή στη μη σωστή επιλογή τους ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος . Για τον υπολογισμό των απωλειών του συστήματος χρησιμοποιούμε τον συντελεστή δυναμικού (CF) ο οποίος εκφράζει την ετήσια απόδοση της ενεργειακής παραγωγής του φ/β πάρκου . Ο συντελεστής δυναμικού ορίζεται σαν ο λόγος της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προς την ενέργεια που θα παραγόταν εάν το φ/β

πάρκο λειτουργούσε για κάθε ώρα του έτους σε πλήρη ονομαστική ισχύ.

4.2 Υπολογισμός της παραγωγής αναφοράς

Ο υπολογισμός της παραγωγής αναφοράς δίνεται από την σχέση που εκφράζει το λόγο μεταξύ της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας H_t προς την ακτινοβολία αναφοράς των πλαισίων ($1\text{kw}/\text{m}^2$). Επομένως η παραγωγή είναι ο μέγιστος αριθμός ενός ήλιου ανά ώρα . Η σχέση λοιπόν η οποία και μας δίνει την παραγωγή αναφοράς είναι: $Y_r = H_t[\text{kwh}/\text{m}^2] / 1\text{kwh}/\text{m}^2$

4.3 Ο συνολικός συντελεστής απωλειών

Οι τυπικές απώλειες στις φ/β συστοιχίες περιλαμβάνουν βασικά τις απώλειες οι οποίες και εμφανίζονται λόγω της θερμοκρασίας ($\eta_{\text{θερ}}$) καθώς και λόγω της ρύπανσης που εμφανίζεται στα φ/β πλαίσια ($\eta_{\text{ρυπ}}$). Επίσης οι ηλεκτρικές απώλειες, οι οποίες και εμφανίζονται στους αγωγούς οι οποίοι και συνδέουν τα φ/β και τις φ/β συστοιχίες μεταξύ τους , καθώς και τις απώλειες οι οποίες και εμφανίζονται στις συνδέσεις με τα άλλα μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος .Σημαντικές είναι οι απώλειες οι οποίες και εμφανίζονται λόγω της λειτουργίας των άλλων στοιχείων του συστήματος , και οι οποίες και εμφανίζονται κυρίως στις απώλειες που προέρχονται από τον αντιστροφέα , καθώς και τις απώλειες του μετασχηματιστή .Επίσης οι απώλειες οι οποίες και προέρχονται από την

διαθεσιμότητα του συστήματος και οι οποίες προέρχονται από το διάστημα το οποίο το σύστημα βρίσκεται εκτός παραγωγής λόγω του ότι γίνεται κάποια συντήρηση ή και βλάβη στο σύστημα. Τέλος οι απώλειες που προέρχονται από το δίκτυο διασύνδεσης της ΔΕΗ.

4.3.1 Υπολογισμός παραγωγής συστοιχίας

Για τον υπολογισμό της παραγωγής συστοιχίας ,εφαρμόζουμε την σχέση που μας δίνει το λόγο μεταξύ της ενέργειας στην έξοδο της φ/β συστοιχίας, προς την μέγιστη ισχύ των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στοιχείων.

4.3.2 Υπολογισμός των απωλειών του συστήματος

Ο υπολογισμός των απωλειών του συστήματος περιλαμβάνει τις απώλειες οι οποίες και προέρχονται από την διασύνδεση των μετατροπέων του συστήματος καθώς και τις απώλειες από τη διασύνδεση του μετασχηματιστή. Με την αφαίρεση της συνολικής παραγωγής της συστοιχίας και της τελικής παραγωγής, προκύπτουν οι απώλειες του συστήματος.

4.3.3 Υπολογισμός απωλειών μεταξύ των συστοιχειών

Για τον υπολογισμό των απωλειών μεταξύ των συστοιχιών , αφαιρούμε την παραγωγή αναφοράς και την τελική παραγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 100 KW



Η διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού περιλαμβάνει τα παρακάτω βασικά βήματα:

1) Μελέτη: Βελτιστοποίηση συνδυασμού Φ/Β γεννητριών και μετατροπένων δικτύου για τον συγκεκριμένο χώρο επένδυσης. Χωροταξική τοποθέτηση του υλικού για τη βελτιστοποίηση της κάλυψης και την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Ενεργειακή μελέτη απόδοσης του Φ/Β πάρκου.
Σχέδια εγκατάστασης

2) Υλοποίηση κατασκευής βάσεως (συναρμολόγηση)

3) Στήριξη Φ/Β γεννητριών επί των βάσεων

4) Υλοποίηση καλωδίωσης μεταξύ των Φ/Β και των μετατροπέων ισχύος. Επίσης διασύνδεση των μεταλλικών στηρίξεων με την γείωση του πάρκου.

5) Διατάξεις ζεύξης/απόζευξης Φ/Β.

6) Πίνακες συνδέσεων των Φ/Β.

7) Υλοποίηση καλωδίωσης μεταξύ μετατροπέων ισχύος με κεντρικό πίνακα AC

8) Κεντρικός πίνακας AC. Σε περίπτωση όπου το Φ/Β πάρκο είναι ισχύος μεγαλύτερη των 100kWp η εγκατάσταση συμπεριλαμβάνει και τις διατάξεις ανύψωσης (Μ/Σ μέσης τάσης απόδοσης περίπου 90% με τους ανάλογους διακόπτες Χ.Τ. και Μ.Τ. εγκατεστημένους εντός οικίσκου)

Επιπλέον Κόστη:

Για την υλοποίηση ενός Φ/Β πάρκου υπάρχουν επιπλέον πηγές κόστους οι οποίες δεν είναι αναγνωρίσιμες άμεσα αλλά επηρεάζουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό την τελική κοστολόγηση.

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

1) Άδειες και προετοιμασία χαρτιών και φακέλων. Για την ολοκλήρωση των διαδικασιών ίσως απαιτηθούν κάποιες άδειες και πιθανά κάποιες μελέτες. Ειδικότερα εάν γίνει προσπάθεια ένταξης στον αναπτυξιακό νόμο τότε θα υπάρχει και κάποιο κόστος προετοιμασίας φακέλου. Συνήθως η πληρωμή του είναι εφόσον ενταχθεί το έργο στον αναπτυξιακό.

2) Διαμόρφωση οικοπέδου. Χωματουργικές εργασίες καθώς και εργασίες υποδομής (βάσεις μπετού, σωληνώσεις για τις καλωδιώσεις, περιφράξεις, φρεάτια, πιθανά οικίσκος κ.α.)

3) Γείωση. Το θέμα της γείωσης είναι σοβαρός παράγοντας κοστολογίου καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ποιότητα εδάφους οπότε και δεν υπάρχει εξ αρχής κάποια ένδειξη κόστους

4) Αντικεραυνική προστασία. Όπως και με τη γείωση η επιλογή της κατάλληλης αντικεραυνικής προστασίας επηρεάζεται άμεσα από το έδαφος (ποιότητα γείωσης) καθώς και από το συνολικό ποσό που διατίθεται ο εκάστοτε επενδυτής να διαθέσει για αυτό το σκοπό. Δεν υπάρχει παγιωμένο κοστολόγιο.

5) Φύλαξη και επιτήρηση του χώρου. Με δεδομένο ότι το συνολικό κόστος επένδυσης είναι σε υψηλά επίπεδα θα πρέπει να γίνει μέριμνα από τον τελικό επενδυτή συστήματος φύλαξης και επιτήρησης της περιουσίας του.

6) Σύνδεση με ΔΕΗ. Πλέον του σταθερού τιμολογίου που αφορά τους μετρητές

Η ΔΕΗ έχει την επιλογή και τη δυνατότητα κοστολόγησης καθώς είναι ο μόνος υπεύθυνος να αποφανθεί για τη διαδικασία και το κόστος που πηγάζει από αυτήν.



ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100kWp

Το Φ/Β πάρκο ισχύος 100kWp υλοποιείται με χρήση συνολικά 444 Φ/Β γεννητριών της εταιρείας BYD και ο τύπος είναι 225P6-30 ονομαστικής μέγιστης ισχύος 225 Wp τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Τα φωτοβολταϊκά πανελ που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι της εταιρίας BYD και ο τύπος είναι 225P6-30

Η ονομαστική μέγιστη ισχύ του πάρκου είναι 99.9 kWp.



Τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ αναφέρονται παρακάτω

Διαστάσεις (Π x Υ x Β):

1640 mm x 992 mm x 50 cm

Μεγάλο εύρος εφαρμογών

- Διασυνδεδεμένα συστήματα μεγάλης κλίμακας
- Λύση για ειδικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων

Μεγάλος χρόνος ζωής

- Οι Φ/Β κυψέλες είναι ενθυλακωμένες σε EVA (ethylene vinyl acetate)
- Ειδικό γυαλί στην πρόσθια όψη
- Ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και στο νερό

Στιβαρή κατασκευή

- Πλαίσιο αλουμινίου πλήρες κλειστό
- Το πλαίσιο είναι βιδωμένο στις άκρες για πρόσθετη αντοχή

Εύκολη εγκατάσταση

- Ενσωματωμένα καλώδια μήκους 100mm και 4mm² που καταλήγουν σε επαφές Multi-contact (MCIII) στάνταρτ

Υψηλής ποιότητας φινίρισμα

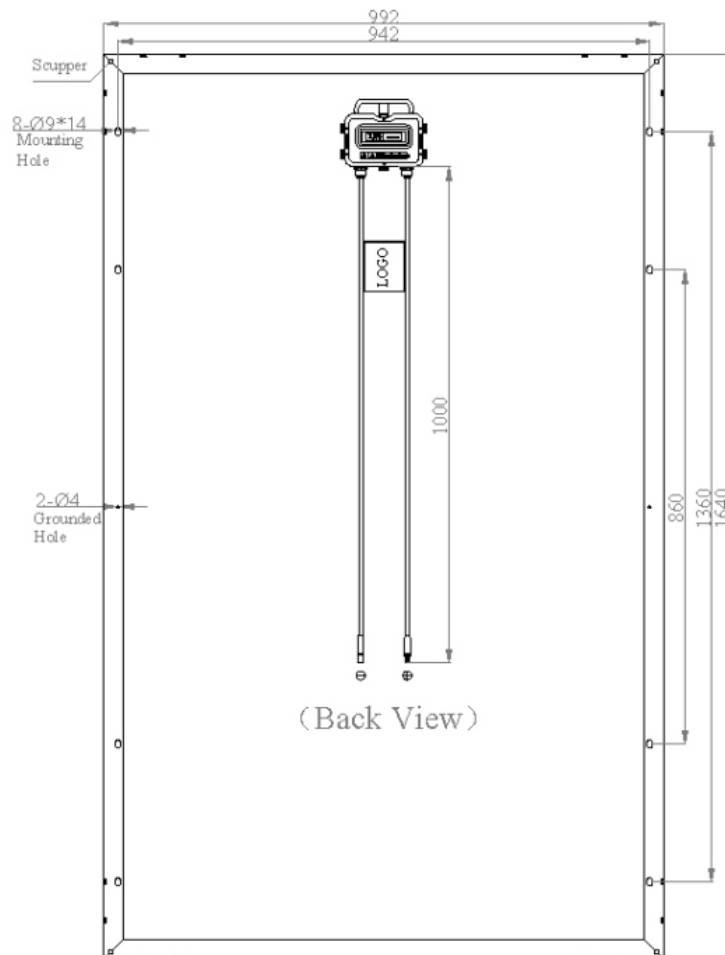
- Οπτικός, μηχανικός και ηλεκτρικός έλεγχος κατά τη διάρκεια της παραγωγής καθώς και μετά το πέρας αυτής.
- Πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή που διασφαλίζει συνεχή υψηλή ποιότητα προϊόντος

Εγγύηση και πιστοποιητικά

- 25 έτη εγγύηση για ελάχιστη απόδοση 80%. 10 έτη για ελάχιστη απόδοση 90%
- 5 έτη εγγύηση υλικού
- IEC 61730, Protection Class II
- IP65

Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	36.40 V
Τάση λειτουργίας (Vmp)	28.67 V
Ρεύμα κλειστού κυκλώματος (Isc)	8.45 A
Ρεύμα λειτουργίας (Imp)	7.87 A
Μέγιστη ισχύς (Pmax)	225 Wp
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C ~ +85°C
Μέγιστη τάση συστήματος λειτουργίας	1000 V DC

Οπίσθια όψη του πάνελ



Τα Φ/Β πλαίσια θα τοποθετηθούν επί μεταλλικής κατασκευής βάσης αλουμινίου, για φωτοβολταϊκά γερμανικής κατασκευής της εταιρίας SCHUCO με 15 χρόνια εγγύηση.

Η εν λόγω μεταλλική κατασκευή είναι ειδικά σχεδιασμένη για Φ/Β πάρκα ανάλογης κλίμακας και δοκιμασμένη σε αρκετά Φ/Β έργα στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

Για τη βέλτιστη απόδοση στην παραγόμενη ενέργεια και την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω των αποστάσεων και του κόστους των καλωδίων συνεχούς ρεύματος, προτείνεται η χρήση 9 μετατροπών δικτύου Sunny mini central 11000TL



Χαρακτηριστικά του μετατροπέα

Διαστάσεις (Π x Υ x Β):

468mm x 613mm x 242mm

Οικονομικός

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 %
- Βέλτιστος μηχανισμός ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP OptiTrac
- Ευφυής διαχείριση θερμοκρασιών OptiCool
- Χωρίς μετασχηματιστή με τοπολογία Η5
- Επιτηρούμενες ασφάλειες στοιχειοσειρών

Ασφάλεια

- Δυνατότητα σύνδεσης SMA Power Balancer για τριφασική σύνδεση δικτύου
- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης απόξευξης φορτίου

DC ESS.

Είσοδος (DC)	
Μέγιστη ισχύς DC	11400 W
Μέγιστη τάση DC	700 V
Εύρος φωτοβολταϊκής τάσης, MPPT	333 V – 500 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	34 A
Αριθμός ανιχνευτών MPP	1
Μέγιστος αριθμός στοιχειοσειρών (παράλληλα)	5

Έξοδος (AC)	
Ονομαστική ισχύς AC / μέγ. ισχύς AC	11000 W / 11000 W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	48 A
Ονομαστική τάση / εύρος AC	220 V – 240 V / 180 V – 260 V
Συχνότητα δικτύου (αυτορυθμιζόμενη) / εύρος AC	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1
Σύνδεση AC / Power Balancing	μονοφασική
Βαθμός απόδοσης	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Euro-Eta	98,0 % / 97,5 %
Διατάξεις προστασίας	
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC	
Ηλεκτρονικός διακόπτης απόξευξης φορτίου DC ESS	
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς γη	
Επιτηρούμενες ασφάλειες στοιχειοσειρών	
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	
Μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	

Η σύνδεση των Φ/Β γεννητριών γίνεται με κατάλληλους συνδετήρες εξωτερικού χώρου τύπου Multi contact III. Τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κατάλληλου τύπου για εφαρμογές Φ/Β πάχους 4mm². Η ομαδοποίηση των

συστοιχιών και η τελική τους σύνδεση με τους μετατροπείς θα γίνει βάση της τελικής τοποθέτησης του υλικού.

Οι έξοδοι των μετατροπέων δικτύου θα ομαδοποιηθούν κατάλληλα και βάση του τελικού χώρου τοποθέτησης, που θα επιλεγεί κατάλληλα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών, θα οδηγηθούν προς τον κεντρικό πίνακα του πάρκου προς τον μετρητή ενέργεια και τελικά στο δίκτυο. Η σύνδεση στο δίκτυο θα γίνει σε χαμηλή τάση (400 V AC). Η εγκατάσταση θα φέρει τις απαιτούμενες από τη ΔΕΗ διατάξεις ασφάλειας και προστασίας και θα εναρμονίζεται με τους Ελληνικούς και Διεθνείς κανονισμούς που απαιτούνται.

Ο χώρος που απαιτείται για την υλοποίηση του ανωτέρου Φ/Β πάρκου ανέρχεται περίπου σε 5950 τετραγωνικά μέτρα. Σε αυτή την έκταση έχει γίνει η κατάλληλη πρόβλεψη για την αποφυγή του φαινομένου σκίασης των Φ/Β καθώς και των ανάλογων διαδρόμων για την επίσκεψη στα διάφορα τμήματα του πάρκου. Η απαιτούμενη έκταση μπορεί να μεταβληθεί για αποφυγή φαινομένων σκίασης λόγω φυσικών ή τεχνητών εμποδίων στην περιοχή (π.χ. κτίσματα σε όμορες περιοχές, δένδρα κ.α.)

Οι εγγυήσεις του εξοπλισμού είναι ως ακολούθως:

- Φ/Β γεννήτριες: 5 έτη για το υλικό, 10 έτη για ελάχιστη απόδοση 90% και 25 έτη για ελάχιστη απόδοση 80%.
- Μετατροπείς ισχύος 5 έτη για το υλικό.

- Βάση στήριξης 15 έτη.

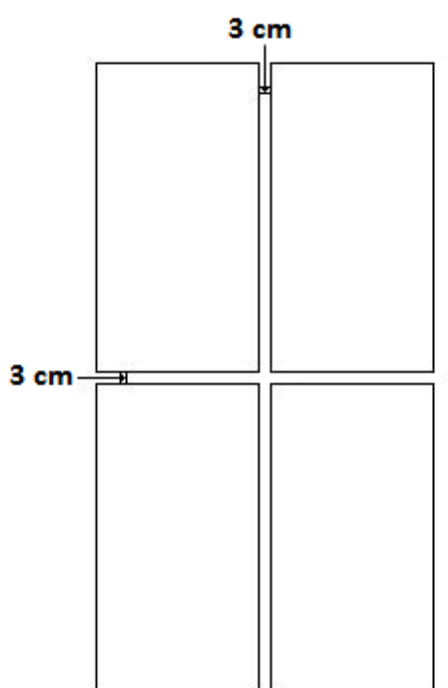
Η ισχύς που χρειαζόμαστε είναι 100 Kw. Άρα με τα πάνελ των 225 Wp έχουμε: $100000/225\text{wp}=444,4444$. Οπότε θα χρειαστούμε 444 πάνελ, άρα η εγκατεστημένη ισχύς από τα πάνελς είναι: $444*225=99,900$ Kw.

Θα χρησιμοποιηθούν βάσεις αλουμινίου



στις οποίες τα φωτοβολταικά πάνελ θα τοποθετηθούν όπως απεικονίζονται στο σχήμα στο οποίο δείχνουμε τα κενά που

χρειάζονται τα φωτοβολταικά πάνελ μεταξύ τους ώστε να τοποθετηθούν τα εξαρτήματα στήριξης τους, τα οποία χρειάζονται 3cm διάκενο και για να αποφευχθεί τυχόν θραύση τους απο τις συστολές, διαστολές λόγω των θερμοκρασιών και του αέρα.



Τα Φωτοβολταικά πάνελ θα χωροδιαταχθούν σε 18 συγκροτήματα βάσεων όπως φέεται και στα σχέδια, στις οποίες θα έχουν τοποθετηθεί τα πάνελ σε διατάξεις των 16 και

17 πάνελ ώστε να καταμεριστούν και να συνδεθούν στους μετατροπείς δικτύου.

Το πάρκο έχει περιμετρικά καλυφθεί με ταινία γείωσης χαλκού η οποία ενώνεται σε φρεάτια και απο εκεί εξέρχονται εύκαμπτα ηλεκτρόδια χαλκού τα οποία είναι τοποθετημένα, βιδωμένα πάνω στα μεταλλικά πλαίσια τα οποία στηρίζονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στην φωτογραφία παρακάτω



απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο είναι βιδωμένο πάνω το ηλεκτρόδιο της γείωσης.

Οι βάσεις όπως φένεται και απο τις εικόνες είναι στηριγμένες σε μπετό το οποίο έχει γίνει εσκαφή και έχει θεμελιωθεί μαζί με σίδερα ώστε να είναι περισσότερο στιβαρή η κατασκευή και να αντέχει σε πιθανόν σφοδρούς ανέμους οι οποίοι αναπτύσσονται στην περιοχή λόγω και του υψομέτρου. Επίσης οι βάσεις έχουν ανα διαστήμα, ανάλογα την δομή κατασκευής των βάσεων, δεθεί και με συρματοσχοινο σε διάταξη Χ ώστε να είναι περισσότερο σταθερές



Πρίν γίνει η διαμόρφωση του χώρου και πρίν πέσουν τα μπετά περάστηκαν πλαστικές σωλήνες σε μορφή σπιδράλ βαρέως τύπου διαμέτρου 90mm υπογείως οι οποίες καταλήγουν σε φρεάτια και μετά εξέρχονται απο εκεί άλλες σωλήνες, του ίδιου τύπου, στην επιφάνεια ώστε να γίνει η όδευση των καλωδίων μέσα απο αυτές. Στα σχέδια απεικονίζονται οι θέσεις των φρεατίων και τα σημεία της διέλευσης του σπιδράλ.



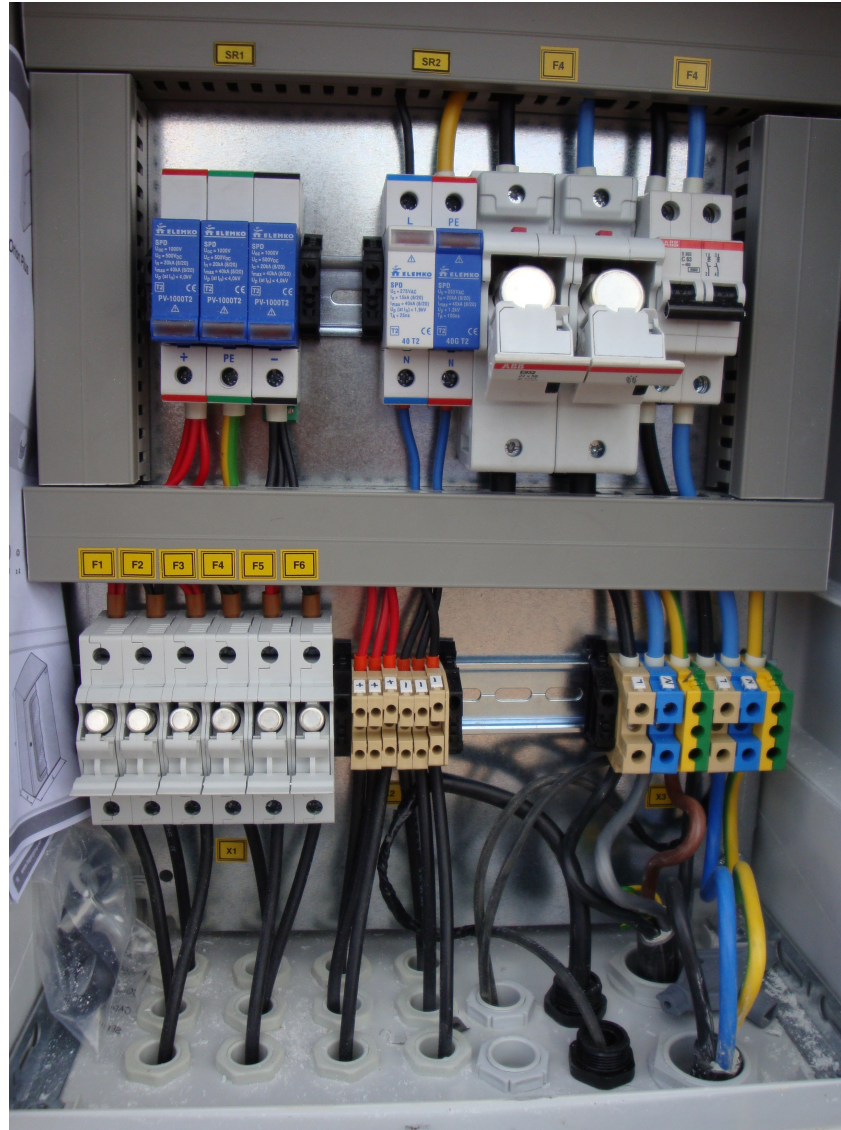
Τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

- Απο τα πάνελ στους πίνακες των μετατροπέων θα χρησιμοποιηθούν solar 4 mm² καλώδια για αποστάσεις έως 10 μέτρα και για μεγαλύτερες αποστάσεις 6 mm² τα οποία έχουν εσωτερικά επιπλέον χρωματισμένη μόνωση ώστε να είναι ευδιάκριτη η πολικότητα.
- Απο του πίνακες των μετατροπέων στους μετατροπείς και κατόπιν στους τοπικούς πίνακες θα χρησιμοποιηθούν καλώδια NYMYY 3x16 mm² για αποστάσεις έως 25 μέτρα και για μεγαλύτερες αποστάσεις 3x25 mm².
- Απο τους τοπικούς πίνακες στον κεντρικό θα χρησιμοποιηθούν καλώδια NYMYY 5x16 mm² για αποστάσεις έως 25 μέτρα και για μεγαλύτερες αποστάσεις 5x25 mm².
- Απο τον κεντρικό πίνακα στον πίνακα της ΔΕΗ θα χρησιμοποιηθούν NYMYY 3 καλώδια 1x120 mm² για τις τρεις φάσεις και 2 καλώδια 1x70 mm² για ουδέτερο και γείωση.
- Για την τηλεμετρία θα χρησιμοποιήσουμε καλώδιο NYMYY 4x0,34 mm². Η τροφοδοσία του πίνακα τηλεμετρίας θα γίνει απο τον γενικό πίνακα με καλώδιο NYMYY 3x2,5 mm².
Στον πίνακα της ΔΕΗ ουδέτερος και γείωση συνδέονται μαζί.

Συνδέσεις

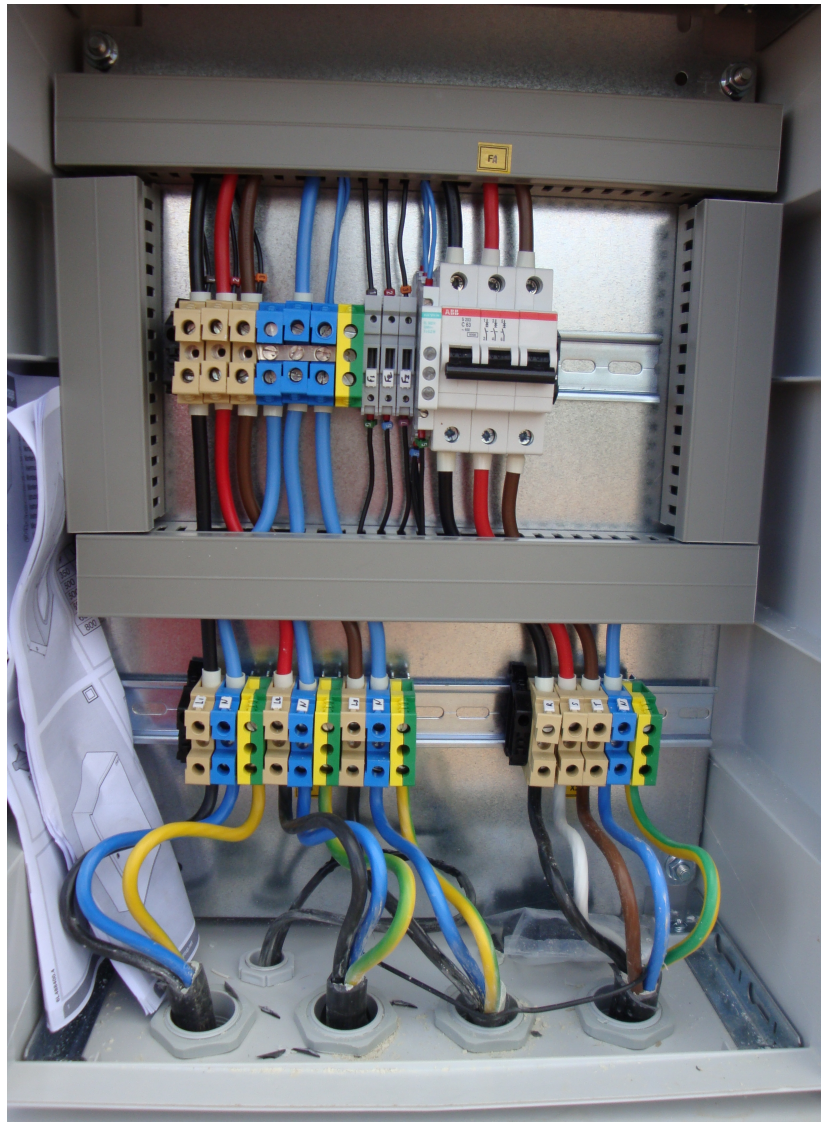
Απο τα πάνελ που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία χωρίζονται σε τρία συγκροτήματα των 16 ή 17 πάνελ για να συνδεθούν στον κάθε μετατροπέα, έχουμε τρία θετικά (κόκκινα)

και τρία αρνητικά (μαύρα ή μπλέ) καλώδια solar. Τα καλώδια αυτά συνδέονται στον πίνακα του μετατροπέα ώστε να ασφαλίσουμε τον μετατροπέα με ασφάλεις τήξεως καθώς και απο υπερτάσεις με τις λεγόμενες SPD ασφάλειες. Η εικόνα απεικονίζει τον τρόπο και τις θέσεις σύνδεσης αυτων των καλωδίων καθώς και των καλωδίων solar που ενώνονται στον μετατροπέα. Επίσης βλέπουμε και τα καλώδια που έρχονται απο την AC εξοδο του μετατροπέα και κατόπιν ασφαλίζονται και καταλήγουν στον τοπικό πίνακα. Κάτω αριστερά στις ασφάλεις τήξεως συνδέονται τα κάλωδια απο τα πάνελ. Δίπλα συνδέονται τα καλώδια που πάνε στον μετροπέα. Πάνω αριστερά φέρονται οι SPD ασφάλεις (μπλέ και άσπρες). Δίπλα είναι οι γενικές ασφάλεις τήξεως και οι αυτόματοι ασφαλοιοδιακόπτες που μεταφέρουν την ισχύ στον τοπικό πίνακα. Κάτω δεξιά είναι συνδεμένα τα καλώδια που εξέρχονται απο τον μετατροπέα και καταλήγουν στον τοπικό πίνακα.

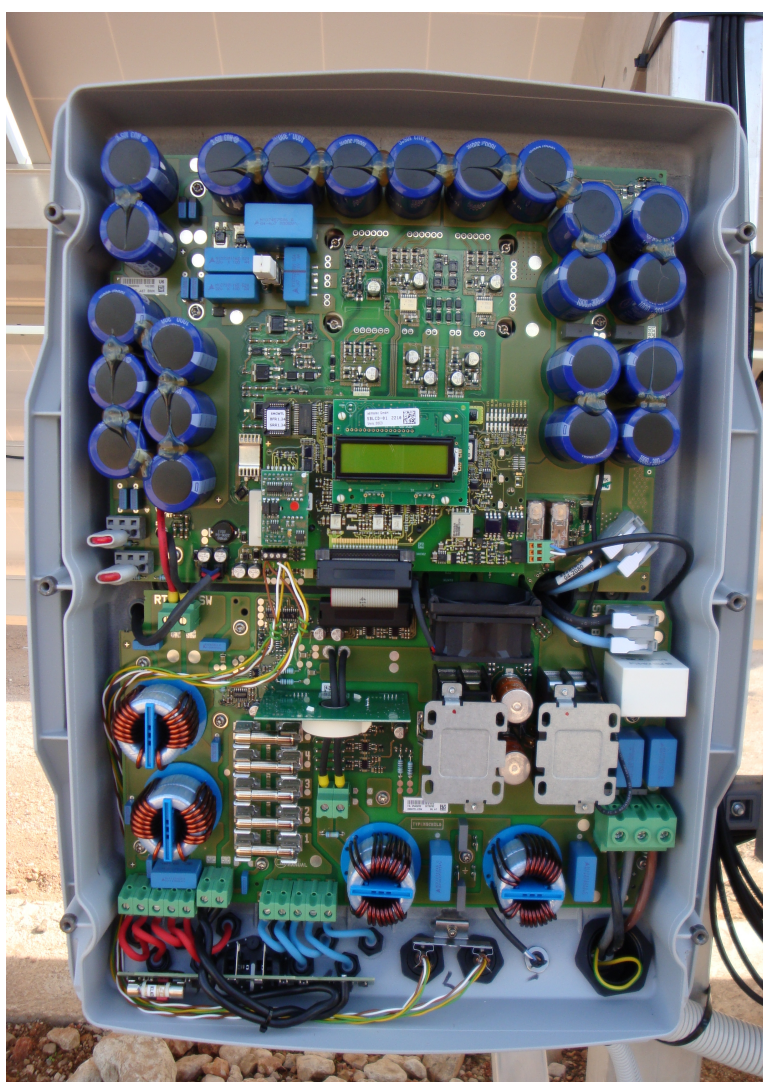


Στον τοπικό πίνακα καταλήγουν τα καλώδια από τρεις πίνακες μετατροπών και μετά από τους τρεις τοπικούς πίνακες καταλήγουν στον γενικό πίνακα. Στην εικόνα παρακάτω

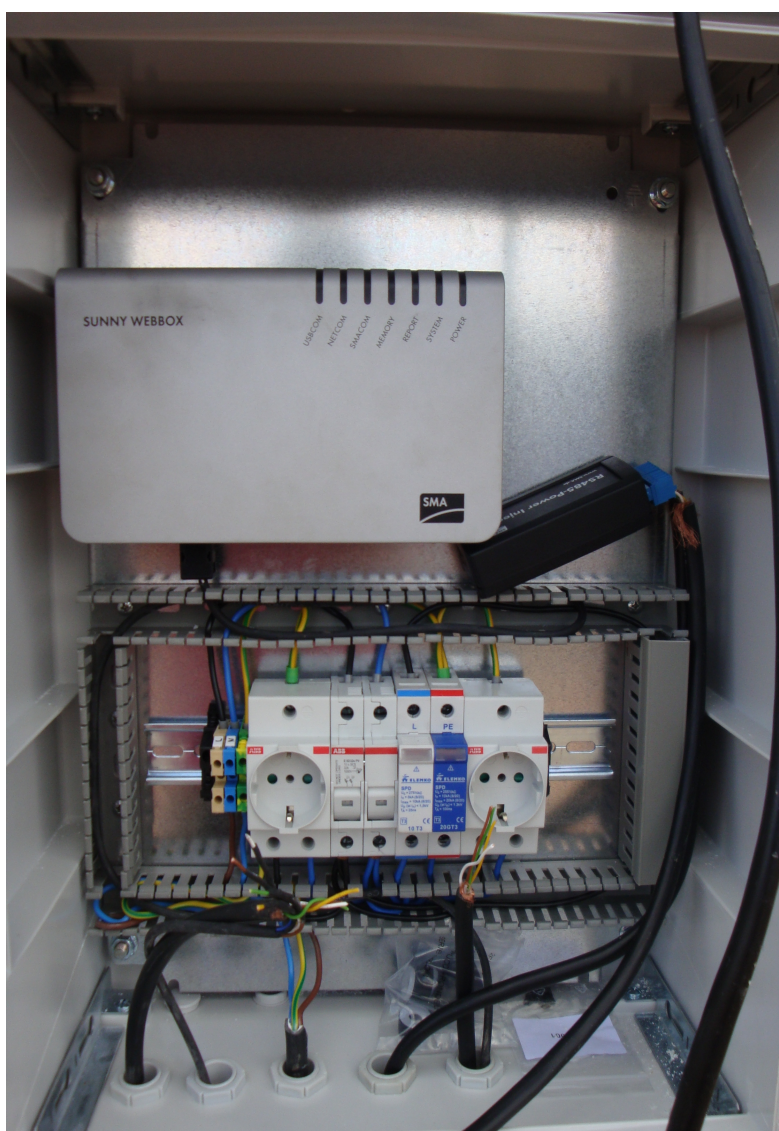
φέρονται τα τρία καλώδια αριστερά και το καλώδιο που εξέρχεται για τον γενικό πίνακα δεξιά.



Σε αυτήν την εικόνα απεικονίζεται εσωτερικά ο μετατροπέας με την σύνδεση του καλωδίου της τηλεμετρίας στο κέντρο περίπου και με το καλώδιο κάτω δεξιά που μας δίνει την AC έξοδο. Τα solar καλώδια συνδέονται κάτω από τον μετατροπέα με ειδικούς κουμποτούς συνδέσμους που περιέχονται στην συσκευασία.



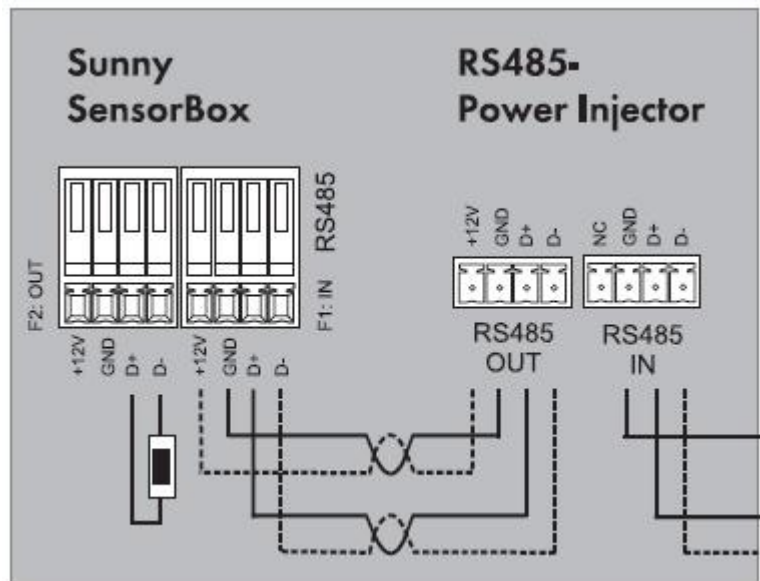
Εδώ βλέπουμε τον πίνακα τηλεμετρίας με τις συσκευές του, ο οποίος χρησιμοποιείται για την επίβλεψη, επιτήρηση του πάρκου πέρνοντας μετρήσεις. Βλέπουμε το WebBox πάνω αριστερά και δίπλα του είναι το Power injector (μαύρο κουτί).

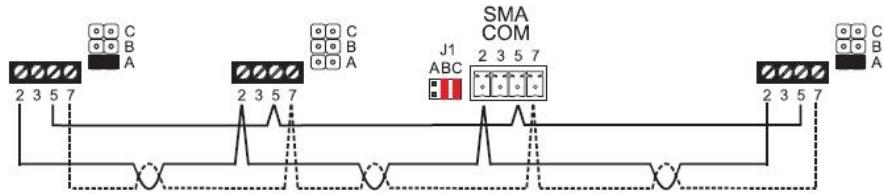


Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην τηλεμετρία: Ανεμούρη ώστε να περνουμε μετρήσεις για τον αέρα, θερμοκρασία χώρου (άσπρο κούτι), θερμοκρασία πάνελ (μαύρο καλώδιο πανω δεξιά) και το SensorBox, το οποίο έχει έναν καθρέπτη ώστε να μετράει Wp Watt ανα mm² και συνδέονται και πάνω σε αυτό όλοι οι αισθητήρες και μετά στέλνει τις εντολές στο WebBox, που βρίσκεται μέσα στον πίνακα τηλεμετρίας, το οποίο μέσω Web interface μας δείνει τις μετρήσεις.

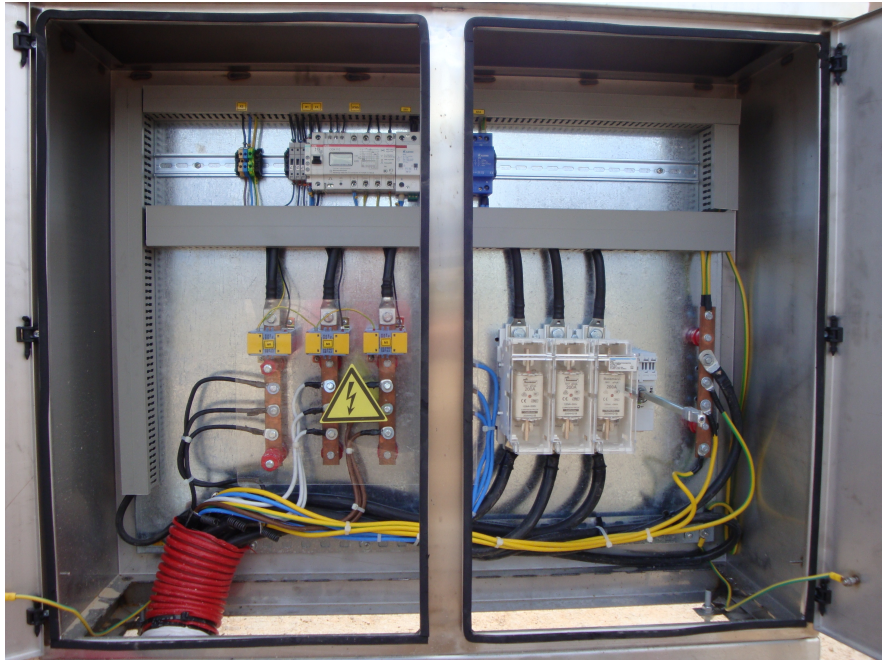


Στις εικόνες παρακάτω φέρονται οι συνδέσεις των καλωδίων μεταξύ SensorBox, Power Injector και WebBox. Η Θύρα SMA COM που φέρεται στην δεύτερη εικόνα είναι από το WebBox το οποίο μπορεί να συνδεθεί ανάμεσα στους μετατροπείς αφού είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Οι άλλες κλέμες που φέρονται είναι από τους μετατροπείς. Σε αυτήν την συνδεσμολογία θα πρέπει να έχουμε jumper (σύνδεσμος ο οποίος χρησιμοποιείται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα για να βραχυκυκλώνει άκρα) μόνο στις υποδοχές B και C και όχι στην A.





Ο γενικός πίνακας. Αριστερά συνδέονται τα καλώδια από τους τρεις τοπικούς πίνακες, πάνω αριστερά μέσω μίας αυτόματης ασφάλειας 16 Α τροφοδοτούμαι τον πίνακα τηλεμετρίας και κάτω δεξιά συνδέονται τα καλώδια τα οποία πάνε στον πίνακα της ΔΕΗ.



Επίλογος

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να γίνουν κατανοητές βασικές πληροφορίες πάνω στα φωτοβολταικά καθώς και πληροφορίες για την μελέτη ενός πάρκου με τα στάδια για την υλοποίησή του. Στην εργασία περιλαμβάνεται και αρχείο autocad με σχέδια τα οποία απεικονίζουν τον τρόπο τον οποίο χωροδιαθετούνται τα φωτοβολταικά πάνελ καθώς και η τοπολογία συνδέσεων τους σε strings. Επίσης απεικονίζονται και οι βάσεις στήριξης με τον προσανατολισμό του νότου όπως επίσης και οι καλωδιώσεις ταινίας γειώσεως και των καλωδίων ισχυρών ρευμάτων και τηλεμετρίας.

Βιβλιογραφία και πηγές πληροφοριών και προϊόντων για την μελέτη του πάρκου

- Σημειώσεις μαθήματος φωτοβολταϊκών του κ. Σταθάτου
Ηλία: <http://eclass.teipat.gr/claroline/document/document.php>
- Βάσεις στήριξης:
http://www.schueco.com/web/gr/home_owners
- Πληροφορίες για τα φωτοβολταϊκά πάνελ:
<http://bydit.com/doce/products/Solar%20Energy/>
- Μετατροπείς και συστήματα τηλεμετρίας:
<http://www.sma-hellas.com/>
- Γενικές πληροφορίες για τα φωτοβολταϊκά:
http://greenenergia.gr/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- <http://www.helapco.gr/>
- <http://www.solar-systems.gr/>
- <http://www.selasenergy.gr/>
- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC>