



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Μεταπτυχιακή Εργασία

**«ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ Π.Θ.»**



ΤΖΟΡΜΠΑΤΖΟΓΛΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Π.Δ.Μ.

Επιβλέπων: Σταμάτης Αναστάσιος
Επίκουρος καθηγητής

ΒΟΛΟΣ 2011

© 2011 Φωτεινή Τζορμπατζόγλου

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δρ. Σταμάτης Αναστάσιος (Επιβλέπων)

Επίκουρος καθηγητής

Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική – Θερμικοί Σταθμοί

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ. Τσιακάρης Παναγιώτης

Αναπληρωτής καθηγητής

Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας: κατάλυση–ηλεκτροκατάλυση–κυψέλες
καυσίμου

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος

Αναπληρωτής καθηγητής

Πειραματικά Φαινόμενα Μεταφοράς

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, επίκουρο Καθηγητή κ. Αναστάσιο Σταμάτη, για την ανάθεση της εργασίας, τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των φωτοβολταϊκών, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς επίσης για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Παναγιώτη Τσιακάρα για την πολύτιμη βοήθεια του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Ευχαριστίες οφείλονται επίσης και στον κ. Νικόλαο Ανδρίτσο ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής για την προσεκτική ανάγνωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Κυρίως όμως οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Σε αυτήν οφείλεται ότι έχω μέχρι σήμερα επιτύχει.

Τέλος, θέλω να πω ένα ευχαριστώ στον Νίκο Τσούση, την Ασπασία Χατζηπασχάλη και όλους τους φίλους μου για την κατανόηση και την στήριξή τους στην προσπάθεια αυτή.

Τζορμπατζόγλου Φωτεινή

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	- 5 -
Κατάλογος εικόνων.....	- 7 -
Περίληψη.....	- 9 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	- 11 -
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β	- 11 -
1.1 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	- 11 -
1.2 Ιστορική αναδρομή	- 12 -
1.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	- 13 -
1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (si).....	- 14 -
1.5 Είδη Φωτοβολταϊκών πλαισίων	- 14 -
1.6 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα	- 16 -
1.6.1 Φωτοβολταϊκές γεννήτριες.....	- 17 -
1.6.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα.....	- 19 -
1.7 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων	- 21 -
1.8 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	- 24 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	- 28 -
ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ...	- 28 -
2.1 Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας.....	- 28 -
2.2 Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP).....	- 28 -
2.3 Θερμοκρασιακός συντελεστής ρευματος(I), τάσης(V) και ισχύος(P)	- 30 -
2.4 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας	- 31 -
2.5 Ηλιακή γεωμετρία	- 32 -
2.6 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων.....	- 34 -
2.6.1 Στοιχεία προσδιορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη	- 34 -
2.6.2 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους	- 37 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	- 43 -
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	- 43 -
3.1 Απόδοση του Φ/Β στοιχείου η πλαισίου	- 43 -
3.2 Επίδραση της θερμοκρασίας.....	- 44 -
3.3 Επίδραση της ακτινοβολίας στο βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου	- 45 -
3.4 Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση.....	- 46 -
3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης.....	- 47 -
3.6 Απώλειες σε φωτοβολταϊκά συστήματα	- 49 -
3.6.1 Θερμικές απώλειες (THERMAL LOSSES)	- 49 -
3.6.2 Απώλειες ποιότητας πλαισίου (MODULE QUALITY LOSSES)	- 51 -

3.6.3 Απώλειες ανομοιομορφίας πάνελ (ARRAY MISMATCH LOSSES)	- 51 -
3.6.4 Απώλειες γωνίας πρόσπτωσης (INCIDENCE ANGLE MODIFIER).....	- 53 -
3.7 Εξεργειαστική ανάλυση	- 54 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	- 57 -
ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	- 57 -
4.1 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης	- 57 -
4.2 Φ/ Β Συστοιχίες.....	- 58 -
4.2.1 Εκτίμηση του συνολικού αριθμού πλαισίων.....	- 58 -
4.2.2 Συμβατότητα συστοιχίας - μετατροπέα	- 59 -
4.3 Κλιματολογικά στοιχεία του Βόλου.....	- 59 -
4.4 Περιγραφή του προγράμματος Sunny Design	- 60 -
4.5 Προσανατολισμός	- 67 -
4.6 Αποτελέσματα ανάλυσης.....	- 69 -
4.7 Μελέτη βιωσιμότητας της επένδυσης	- 69 -
4.8 Προϋπολογισμός επένδυσης.....	- 71 -
4.9 Υπολογισμός εξόδων και κόστους παραγωγής.....	- 71 -
4.9.1 Επισκευές – συντήρηση εξοπλισμού.....	- 73 -
4.9.2 Αποσβέσεις	- 73 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	- 74 -
5.1 Προσανατολισμός των πλαισίων στον Νότο	- 74 -
5.2 Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στην στέγη της αρχιτεκτονικής σχολής	- 76 -
5.3 Συνολική εικόνα των καταναλώσεων.....	- 78 -
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 79 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 82 -
Ιστοσελίδες.....	- 84 -
Τεχνικά φυλλάδια του εξοπλισμού	- 85 -
Πίνακας / Ορολογία	- 88 -

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	- 13 -
Εικόνα 1.2: Ηλιακά κύτταρα	- 18 -
Εικόνα 1.3: Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	- 18 -
Εικόνα 1.4: Ομάδα αντιστροφέων σε φωτοβολταϊκό πάρκο.....	-19-
Εικόνα 1.5: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β στοιχείου.....	-22-
Εικόνα 1.6: Η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζει με την ημερήσια παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού.....	-22-
Εικόνα 1.7: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	- 24 -
Εικόνα 1.8: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.	- 26 -

Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστική I/V φωτοβολταϊκού πλαισίου και σημείο μέγιστης απόδοσης (MPP).....	-28-
Εικόνα 2.2: Επίδραση της θερμοκρασίας της κυψέλης στη χαρακτηριστική I/V του φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	-29-
Εικόνα 2.3: Επίδραση της θερμοκρασίας κυψέλης στην ισχύ εξόδου ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για δεδομένη ακτινοβολία.....	-30-
Εικόνα 2.4: Πορεία ήλιου.....	-32-
Εικόνα 2.5: Ένα τυπικό πυρανόμετρο με άσπρες και μαύρες περιοχές.....	-32-
Εικόνα 2.6: (α) Παράδειγμα τόπου T, πάνω στην επιφάνεια της γης, ο οποίος προσδιορίζεται από το γεωγραφικό μήκος του, ίσο με το τόξο ΟΓ, και από το πλάτος του, που καθορίζεται από το τόξο ΓΤ, πάνω στο μεσημβρινό του τόπου ΜΤ. (β) A_{Σ} και β , αζιμούθιο και γωνία κλίσης του συλλέκτη Σ.....	-34-
Εικόνα 2.7: Η γωνία θ , μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, μια δεδομένη χρονική στιγμή, καθορίζεται από τον προσανατολισμό του συλλέκτη (Αζιμούθιο A_{Σ} και γωνία κλίσης β) και τις σφαιρικές συντεταγμένες της θέσης του ήλιου ως προς το σύστημα του παρατηρητή, στον τόπο T, δηλαδή αζιμούθιο A και το ύψος του.....	-35-
Εικόνα 2.8: (α) Τοποθέτηση ΦΒ συστοιχίας με σταθερή γωνία κλίσης (β) Συστοιχία με δυνατότητα στροφής γύρω από οριζόντιο άξονα (γ) Συστοιχία σε ηλιοτρόπιο αζιμουθιακής στροφής, με σταθερή γωνία κλίσης (δ) Συστοιχία με δυνατότητα στροφής ως προς τον άξονα ($\chi\chi'$), ο οποίος διατηρείται κεκλιμένος συνήθως υπό γωνία ίση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου, δηλαδή ως προς άξονα παράλληλο προς τον πολικό άξονα της γης. (ε) Τυπική διάταξη ηλιοτροπίου δύο αξόνων. (στ) ΦΒ συστοιχία στη στέγη κατοικίας (ζ) ΦΒ πλαίσια τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις σε μεγάλη οικοδομή (τοποθέτηση υπό κλίση στη στέγη και σε προβόλους και κατακόρυφα σε όψεις νότιου προσανατολισμού.....	-37-
Εικόνα 2.9: (α) Σταθερή στήριξη σε ετήσια βάση, με γωνία κλίσης $\beta = \varphi - (10^{\circ} \text{ έως } 15^{\circ})$ (β) Εποχική ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη δύο φορές μέσα στο έτος. ΘΗ: Θερινό Ηλιοστάσιο. ΧΗ: Χειμερινό Ηλιοστάσιο. Ι: Ισημερίες.....	-38-
Εικόνα 2.10: Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον κάθετο άξονα (Περιστροφή περί τον άξονα X).....	-40-
Εικόνα 2.11: Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δύο άξονες.....	-41-

Εικόνα 3.1: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου για δεδομένη θερμοκρασία.....	-44-
Εικόνα 3.2: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP).....	-45-
Εικόνα 3.3: (α) Παράδειγμα γήρανσης ΦΒ κυττάρου όπου φαίνεται ο αποχρωματισμός του και το ράγισμα του γυαλιού κάλυψης (β) Πίσω όψη του πλαισίου όπου φαίνεται σπασμένο το ειδικό πλαστικό υλικό προστασίας από την υγρασία.....	-48-

Εικόνα 4.1 : Τοπογραφικό σχέδιο του κτιρίου.....	-56-
Εικόνα 4.2: Διαστασιολογικό πρόγραμμα Sunny Design.....	-60-
Εικόνα 5.1: Απεικόνιση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης πάνω σε σιδηροκατασκευή.....	-73-
Εικόνα 5.2: Βασικά χαρακτηριστικά που εισάγαμε στο πρόγραμμα Sunny Design.....	-74-
Εικόνα 5.3: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος.....	-74-
Εικόνα 5.4: Απεικόνιση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	-76-
Εικόνα 5.5: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος.....	-77-

Περίληψη

Αναντίλεκτα στις μέρες μας η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται επιτακτική όσο ποτέ άλλοτε. Η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή υλοποιείται με την βοήθεια των γνωστών πλέον σε όλους φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, στηριζόμενα στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο λαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία παράγουν στην έξοδό τους ηλεκτρική ενέργεια με την μορφή συνεχούς ισχύος. Τα τελευταία χρόνια, στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και ειδικά σε αυτές που παρουσιάζουν μεγάλη ηλιοφάνεια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν επιδεχθεί μεγάλη βελτίωση και σε αυτά παρατηρείται ραγδαία και συνεχής ανάπτυξη.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από 3 μέρη. Στο πρώτο μέρος παρατίθεται βασικά στοιχεία και γενικές πληροφορίες γύρω από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Παρουσιάζεται η ανατομία, δηλαδή η δομή και τα βασικά μέρη ενός τυπικού φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται ο σχεδιασμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, η προσομοίωση αυτού και οι τελικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα. Το τρίτο μέρος αποτελείται κατεξοχήν από την επεξεργασία μετρήσεων που έχουν γίνει στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Τέλος έγινε μια σύγκριση των τιμών της αποδιδόμενης ισχύς για δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς και μια οικονομική μελέτη για την κάθε περίπτωση.

Abstract

Nowadays the need for renewable sources of energy is imperative than ever. The most common form of renewable source of energy is solar energy, while electricity production from solar energy is implemented with the help of the most famous in all, photovoltaic solar systems.

The photovoltaic solar systems, based on photovoltaic effect, receiving solar radiation produce the electricity in the form of direct current power. In recent years, in most European countries, especially those with lots of sunshine, photovoltaic systems are undergone great improvement, so there is a rapid and continuous development.

This postgraduate presentation consists of 3 parts. The first part is given basic information and general information about photovoltaic systems. Presented the structure and basic parts of a typical solar cell. The second part presents the design of PV system, the simulation and the final observations and conclusions. The third part consists mainly by processing the measurements that have been made in the PV system as well as ways to optimize results. Finally there was a price comparison of output power for two different orientations throughout the year and an economic study of each case.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β

1.1 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια, με δυνατότητα παροχής θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού
- ο άνεμος - αιολική ενέργεια
- οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια, με περιορισμό στα μικρά υδροηλεκτρικά, ισχύος κάτω των 10 MW
- η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας
- η βιομάζα: θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων
- οι θάλασσες: μετακίνηση της θάλασσας μάζας εξαιτίας του βαρυτικού πεδίου της σελήνης και του ήλιου, τη θέρμανση της θάλασσας από την ηλιακή ακτινοβολία και από τα κύματα που προκαλεί ο άνεμος

1.2 Ιστορική αναδρομή

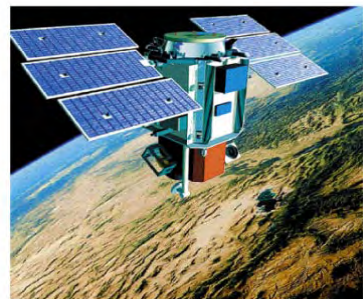
Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmon Becquerel (1820 – 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

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

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

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Scottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία έχει ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I .Οι φωτοβολταϊκές διατάξεις τροφοδοτούσαν με ενέργεια τον δορυφόρο. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια.

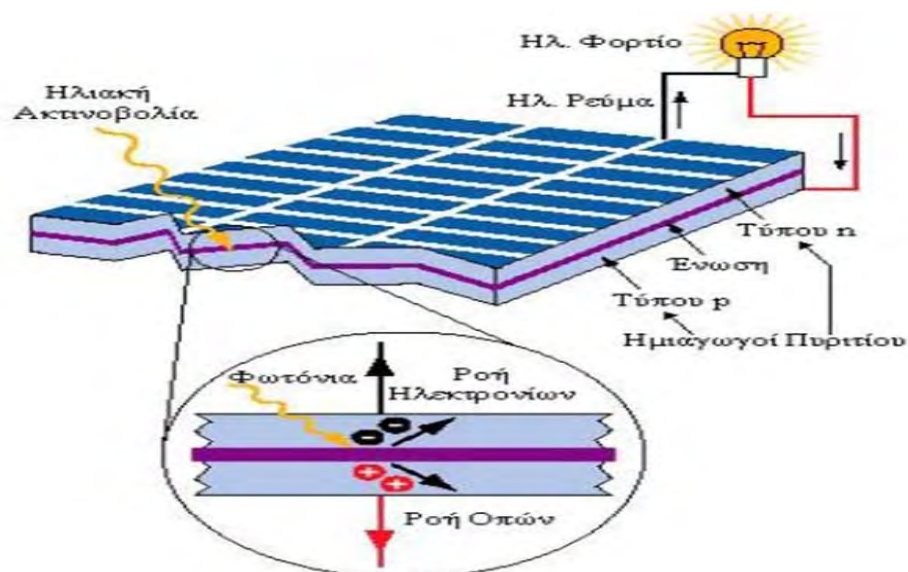


Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Σήμερα έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες τη Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Ήδη βέβαια αυτές οι χώρες έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

1.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η εκμετάλλευσή του στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν διόδους ημιαγωγικών κρυσταλλικών ενώσεων τύπου p-n με την μορφή επίπεδης πλάκας. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί από έναν χημικό δεσμό και να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται περίσσεια φορέων (ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών). Οι φορείς αυτοί καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου φορτίου), δέχονται την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου της ένωσης p-n.

Εξαιτίας αυτού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού προς τους ακροδέκτες των δυο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες αυτούς, συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος από την φωτοβολταϊκή διάταξη προς το φορτίο. Συμπερασματικά η όλη διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες της παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Εικόνα 1.1: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (si)

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

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

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

1.5 Είδη Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Υπάρχουν διάφορα είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων και τα είδη αυτά παρουσιάζουν σαφώς και διαφορετική συμπεριφορά. Η διαφορετικότητα των πλαισίων εστιάζεται κυρίως στο είδος του ημιαγωγού (πυριτίου) και η διαφορετικότητα της συμπεριφοράς τους αναφέρεται κυρίως στις συνθήκες λειτουργίας.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες

α) Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο: Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι το υψηλός κόστος κατασκευής, η υψηλή απόδοση κυψέλης (16-18%) και συνεπώς υψηλός βαθμός απόδοσης πλαισίου.



Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας".

- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο: Έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής σε σύγκριση με το μονοκρυσταλλικό, αλλά επίσης χαμηλότερος είναι και ο βαθμός απόδοσης του πλαισίου.



Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.

β) Φωτοβολταϊκά λεπτών μεμβρανών

- Άμορφο πυρίτιο: Έχει πολύ χαμηλότερο κόστος κατασκευής και ανάλογα χαμηλότερη είναι και η απόδοση σε σχέση με το κρυσταλλικό. Ο βαθμός απόδοσης του είναι περίπου ο μισός σε σχέση με το κρυσταλλικό (8-9% ανά κυψέλη)



Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι αρκετά χαμηλότερη. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές

θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων ηλιακών κυψελών εμφανίζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Λεπτής μεμβράνης	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	Υβριδικά
Απόδοση	Άμορφα : 5-7% CIS : 7-10%	11-14%	13-19%	16-17%
Επιφάνεια ανά KWp	10-20 m ²	8-10 m ²	7-8 m ²	6-7 m ²

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων ηλιακών κυψελών

1.6 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής:

Φωτοβολταϊκό στοιχείο: Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμη Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (PVcell).

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

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

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (γεννήτρια): Μια ομάδα από Φ/Β πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PVarray).

Κατασκευή στήριξης: Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προκειμένου να τοποθετηθούν στο σημείο εγκατάστασής τους εφοδιάζονται με ειδικές κατασκευές. Οι κατασκευές αυτές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μην προκαλούν σκιασμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζουν και την ασφάλειά τους.

Συστήματα μετατροπής ισχύος (inverters): Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα, ενώ τα φορτία καταναλώνουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την μετατροπή της ισχύος στα Φ/Β συστήματα, χρησιμοποιούνται αντιστροφείς (inverters) συνεχούς σε

εναλλασσόμενο (DC/AC). Σκοπός των συστημάτων μετατροπής ισχύος, είναι η κατάλληλη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του παραγόμενου ρεύματος, ώστε να καταστεί δυνατή η τροφοδοσία των διάφορων καταναλώσεων. Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του αντιστροφέα είναι:

- Αξιοπιστία
- Ενεργειακή απόδοση
- Κόστος
- Συμβατότητα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ΔΕΗ

Σε ένα τυπικό Φ/Β σύστημα ο αντιστροφέας (ή αντιστροφείς) τοποθετείται σε απόσταση από τα Φ/Β πλαίσια σε στεγασμένο χώρο. Στις περιπτώσεις αυτές οι καλωδιώσεις είναι συνεχούς ρεύματος.

Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου προστασίας και λοιπά στοιχεία: Το Φ/Β σύστημα συμπληρώνουν οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου, η γείωση, οι καλωδιώσεις (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος) και σχετικό ηλεκτρολογικό υλικό: οι διατάξεις ασφαλείας, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας και σύστημα παρακολούθησης της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος.

Η ΔΕΗ απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης του σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα, ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της ΔΕΗ (προς αποφυγή του φαινομένου της νησιδοποίησης), όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των ακολούθων ορίων:

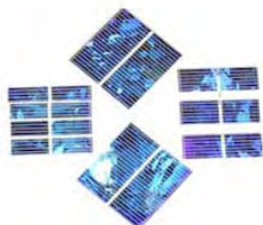
- Τάση: Από +15% μέχρι -20% επί της ονομαστικής (230V)
- Συχνότητα : $\pm 0,5$ Hz επί της ονομαστικής (50Hz)

Σε περιπτώσεις υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη). Αν κατά την διάρκεια λειτουργίας του Φ/Β σταθμού διαπιστωθούν προβλήματα αρμονικών, έγχυση συνεχούς τάσεων στο δίκτυο κλπ, θα πρέπει ο παραγωγός να λάβει τα κατάλληλα μέτρα που θα του υποδείξει η ΔΕΗ.

1.6.1 Φωτοβολταϊκές γεννήτριες

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Το βασικό στοιχείο μιας τέτοιας γεννήτριας είναι η ηλιακή κυψέλη. Πολλές ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες κατάλληλα μεταξύ τους αποτελούν τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες. Πολλοί συλλέκτες συνδεδεμένοι μεταξύ τους αποτελούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και πολλά τέτοια πλαίσια τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Οι ηλιακές κυψέλες κατασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο (Si) ή θειούχο κάδμιο (Cds) ή αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs) σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και σχημάτων ανάλογα με τις εφαρμογές τους. Στην εικόνα 1.2 φαίνονται αντιπροσωπευτικοί τύποι ηλιακών κυττάρων, ενώ στην εικόνα 1.3 φαίνονται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα 1.2: Ηλιακά κύτταρα



Εικόνα 1.3: Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μια κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα (ΣΡ) 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 φωτοβολταϊκές κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται στην υπέρυθρη - ή θερμή - και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητας μετατροπής (20-30%). Πρακτικές ατέλειες, π.χ. ανομοιογένειες, μπορούν να μειώσουν ακόμα περαιτέρω την απόδοση μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης.

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια φωτοβολταϊκή συσκευή καθορίζεται από:

- τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού,
- την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία), και
- το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Τα πάνελ που χρησιμοποιούμε στη μελέτη μας αποτελούνται από κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Οι κυψέλες αυτές κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Επειδή προκύπτουν απευθείας από ορθογώνιες ράβδους οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες είναι συνήθως τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από αυτές από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς και έχουν και λίγο χαμηλότερη απόδοση από αυτές.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης. Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία = 25°C,
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000 W/m²,
- Αέρια μάζα = AM 1,5.

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1.

1.6.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα

Μια φωτοβολταϊκή διάταξη, όπως έχει αναφερθεί, παράγει συνεχές ρεύμα. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει ένα συνεχές (DC) φορτίο άμεσα ή με την χρήση κάποιου συσσωρευτή (μπαταρίας). Στην περίπτωση όμως που απαιτείται να τροφοδοτηθεί φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) ή η διασύνδεση της εγκατάστασης στο δίκτυο διανομής ρεύματος τότε είναι απαραίτητη η χρήση ενός μετατροπέα ο οποίος θα μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Η μετατροπή αυτή πρέπει να γίνεται πάντα με τις μικρότερες δυνατές απώλειες και είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός τέτοιου μετατροπέα.



Εικόνα 1.4 Ομάδα αντιστροφών σε φωτοβολταϊκό πάρκο

Ο μετατροπέας τάσης είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Είναι συνεπώς ένα βασικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο μετατροπέας στην βασική του μορφή αποτελείται από κατάλληλη διάταξη ηλεκτρονικών διακοπών η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων. Μια βελτιωμένη έκδοση των μετατροπέων είναι αυτή που στην έξοδο του παράγει τάση που έχει τη μορφή διαμορφωμένου ημιτόνου.

Ο αντιστροφέας απαιτεί στην είσοδό του ένα συγκεκριμένο εύρος για την τάση λειτουργίας, έχοντας ένα ανώτατο όριο τάσης εισόδου. Το ανώτατο όριο δεν πρέπει να υπερβαίνεται, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του αντιστροφέα. Συνεπώς, ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν εν σειρά (στοιχειοσειρά) υπολογίζεται έτσι ώστε να μην υπερβαίνονται τα όρια αυτά, σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

Η τάση ενός Φ/Β πλαισίου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία λειτουργίας του. Οι τιμές τάσης, ρεύματος και ισχύος που δίνονται από τον κατασκευαστή, αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες δοκιμών (S.T.C). Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία στην οποία διενεργήθηκαν οι μετρήσεις (του κατασκευαστή) είναι 25°C.

Ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων εν σειρά υπολογίζεται έτσι ώστε η συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος της συστοιχίας στη μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, να μην υπερβαίνει το ανώτατο όριο τάσης εισόδου του αντιστροφέα. Για τις πεδινές περιοχές της Ελλάδος ως ελάχιστη θερμοκρασία μπορεί να ληφθεί η τιμή -5°C η -10 °C (θερμοκρασία λειτουργίας ενεργού υλικού του Φ/Β πλαισίου). Συγχρόνως πρέπει να ελεγχθεί και η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου, η οποία ομοίως πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την

τάση ανοικτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς στην μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, ώστε να μην προκύψει πρόβλημα στη μόνωση του Φ/Β πλαισίου.

Ο ελάχιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων εν σειρά ορίζεται έτσι ώστε η συνολική τάση βέλτιστης λειτουργίας της συστοιχίας στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας να υπερβαίνει την ελάχιστη τάση του εύρους εισόδου του αντιστροφέα ώστε αυτός να ενεργοποιείται.

1.7 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες. Ακόμα, επειδή δεν χρειάζονται διαρκή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αυτά είναι μερικά μόνο από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η αξιοποίηση του ηλιακού ηλεκτρισμού, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) που τιθασειούν την ηλιακή ακτινοβολία.

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

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Επιπλέον, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.

Το όφελος για το περιβάλλον είναι σημαντικό, ιδίως αν αναλογιστεί κανείς ότι κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ παράγεται από ορυκτά καύσιμα και επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστο κιλό διοξείδιο του άνθρακα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ,

αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξειδία του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την ποσότητα των ρύπων (σε γραμμάρια) η έκλυση των οποίων αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Λιγνίτη	1.482	1-1,8	1,17-1,23	1,1
Πετρελαίου (χαμηλού θείου)	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικού αερίου	475	0,017	0,6	-
Μέσου ενεργειακού μείγματος χώρας	1.062	CO ₂ : διοξείδιο του άνθρακα, SO ₂ : διοξείδιο του θείου NO _x : οξειδία του αζώτου, PM ₁₀ : μικροσωματίδια		

Πίνακας 1.2: Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται από την παραγωγή μιας ηλιακής κιλοβατώρας από Φωτοβολταϊκό Σύστημα

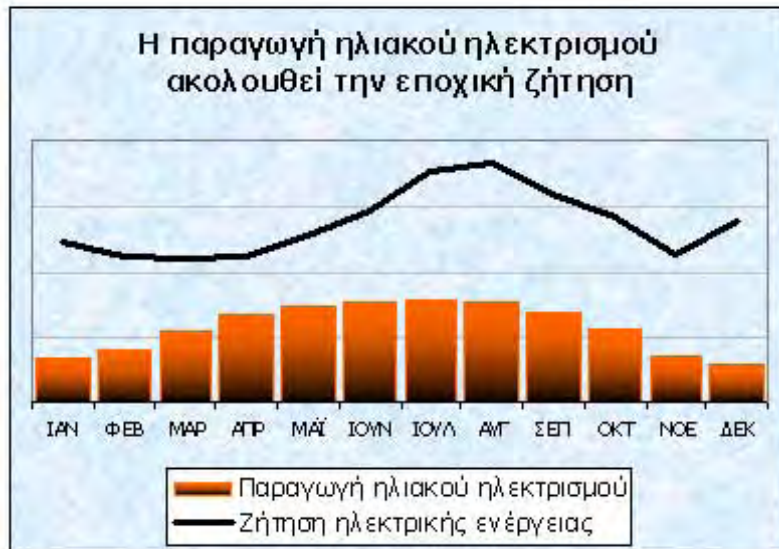
Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες :

- Ανέμων
- Χαλαζιού
- Αλμυρότητας
- Σκόνης
- Ατμοσφαιρικής μόλυνσης

Το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και έχει επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές).

Οι διάφοροι μικροί φωτοβολταϊκοί σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του

συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. Ευρώ



Εικόνα 1.5: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β στοιχείου



Εικόνα 1.6: Η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζει με την ημερήσια παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού

1.8 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

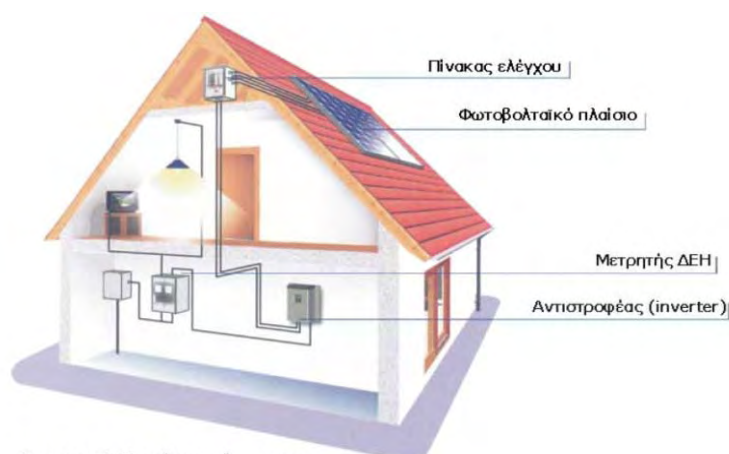
Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

- Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα
- Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα
- Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Όταν το τοπικό ή το εθνικό δίκτυο είναι σε απόσταση αρκετά προσιτή προς την τοποθεσία της Φ/Β εγκατάστασης, είναι συχνά σκόπιμη και συμφέρουσα η σύνδεση μεταξύ τους και η συνεργασία τους.

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει, διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία, τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης. [11]



Διασυνδεδεμένο σύστημα
(ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο της ΔΕΗ)

Εικόνα 1.7: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Σήμερα υπάρχει πληθώρα φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Δηλαδή εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος, όπως άλλωστε κάθε Φ/Β εγκατάστασης, είναι το Φ/Β πλαίσιο, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, όπως δείχνει το σχήμα 1.8, το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και τον βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές (μπαταρίες) για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη, διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, άλλες διατάξεις προστασίας και ελέγχου.

Η βασική λειτουργία του ρυθμιστή φόρτισης είναι να προστατεύει την μπαταρία από υπερβολική φόρτιση και βαθιά εκφόρτιση, αυξάνοντας έτσι την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επίσης ο ρυθμιστής φόρτισης μερικές φορές είναι εφοδιασμένος με διάταξη που να επιτρέπει τη μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β, έτσι ώστε να τροφοδοτείται η μπαταρία με τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ.



Εικόνα 1.8: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στον σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος πρέπει να έχουν γίνει από πριν ορισμένες βασικές επιλογές, όπως αν τα Φ/Β πλαίσια και οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν πλήρως τις αιχμές της ζήτησης ισχύος, αν θα υπάρχει ιεράρχηση στην ικανοποίηση των καταναλώσεων, αν το ρεύμα που θα παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο και σε ποια τάση. Κυρίως, θα πρέπει να έχει καθοριστεί η εποχή του έτους, στη ζήτηση της οποίας να ανταποκρίνεται αξιόπιστα το σύστημα. Δηλαδή, στο εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών και στα μεγέθη των άλλων συστατικών και διατάξεων του συστήματος δίνονται τέτοιες τιμές, ώστε σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκεκριμένη εποχή, να καλύπτονται ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Οι αιτίες για αναξιόπιστη συμπεριφορά του συστήματος μπορούν να έχουν φυσική προέλευση, όπως π.χ. το υπερβολικό πλήθος διαδοχικών συννεφιασμένων ημερών και η προσβολή του Φ/Β πλαισίου από κεραυνό, ή να οφείλονται σε κακό σχεδιασμό.

Στην περίπτωση, που το σύστημα σχεδιάζεται για να λειτουργεί ολόκληρη τη διάρκεια του έτους, τα μεγέθη των συλλεκτών και των άλλων συστατικών και διατάξεων προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία (Δεκέμβριος ή Ιανουάριος) και ακολουθεί διερεύνηση για τον έλεγχο της επάρκειας τους στους υπόλοιπους μήνες του έτους. Για παράδειγμα αν πρόκειται να τροφοδοτηθεί μια κατοικία, θα πρέπει να εξεταστεί αν η αυξημένη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική παραγωγή το καλοκαίρι, λόγω της ισχυρότερης ηλιακής ακτινοβολίας, καλύπτει την ενδεχομένως αυξημένη κατανάλωση, λόγω της συχνότερης λειτουργίας του ηλεκτρικού ψυγείου ή της πρόσθετης λειτουργίας ενός κλιματιστικού.

Η εγκατάσταση των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων γίνεται συνήθως σε απομονωμένες περιοχές που δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα ή η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου είναι ασύμφορη.

Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν στην πλειονότητά τους ως γενεσιουργό αιτία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την ηλιακή ακτινοβολία. Περίοδοι μερικής ή ολικής συννεφιάς, για τα Φ/Β στοιχεία και χρονικά διαστήματα νηνεμίας για τις ανεμογεννήτριες δημιουργούν την ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας και χρησιμοποίησης συμβατικής πηγής προκειμένου να διασφαλιστεί η κάλυψη της ενέργειας ζήτησης μιας εφαρμογής. Η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ μπορεί να αναβαθμιστεί με σύνθετα συστήματα (Υβριδικά συστήματα) που χαρακτηρίζονται από τον συνδυασμό των πηγών αυτών μεταξύ τους ή και με συμβατικές πηγές ενέργειας και σε πολλές περιπτώσεις αποθήκευσης ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομους σταθμούς, μπορεί να στηρίζεται στη συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρου είδους, όπου η μια πηγή να δρα συμπληρωματικά προς την άλλη, ώστε να μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος. Οι σταθμοί αυτού του τύπου ονομάζονται 'υβριδικοί' αφού αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Κατά κύριο λόγο τα υβριδικά συστήματα είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, αλλά μπορούν επίσης να δουλεύουν και ανεξάρτητα από αυτό, τροφοδοτώντας ξεχωριστούς αποδέκτες από ένα ή περισσότερα σπίτια/αγροικίες, μικρές βιομηχανικές ζώνες έως και μεγάλες τοπικές κοινωνίες. Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο υβριδικά συστήματα επιτρέπουν στο πλεόνασμα ενέργειας να επιστρέφει πίσω στο δίκτυο, όταν η ποσότητα που παράγεται είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση των καταναλωτών σε συνδυασμό με τα τοπικά αποθηκευτικά συστήματα. Προφανώς ο κύριος σκοπός που εξυπηρετούν τα υβριδικά συστήματα είναι να προμηθεύουν με ενέργεια απομονωμένες, μη συνδεδεμένες με το δίκτυο περιοχές όπου το κόστος σύνδεσης και διανομής σε τόσο μακρινές αποστάσεις είναι πολύ υψηλό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

2.1 Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας

Η ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και ο βαθμός απόδοσης, δίνεται σαν μέγιστη ισχύς από τους κατασκευαστές σε κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες ονομάζονται «τυποποιημένες συνθήκες ελέγχου» (standard testing conditions, STC).

Οι προκαθορισμένες αυτές συνθήκες ελέγχου είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία κυψέλης: 25 °C
- Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του πλαισίου: 1000 W/m².
- Μάζα αέρα (air mass): 1,5 αυτή αντιστοιχεί σε φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι 45 ° πάνω από τον ορίζοντα. Όταν ο ήλιος είναι στο μέγιστο σημείο του τότε έχουμε AM:1

Τυχόν αποκλίσεις της θερμοκρασίας, της ακτινοβολίας και της μάζας αέρα από τις τυποποιημένες τιμές τους, θα έχουν επίδραση στη συμπεριφορά του πλαισίου και ασφαλώς στην απόδοσή του.

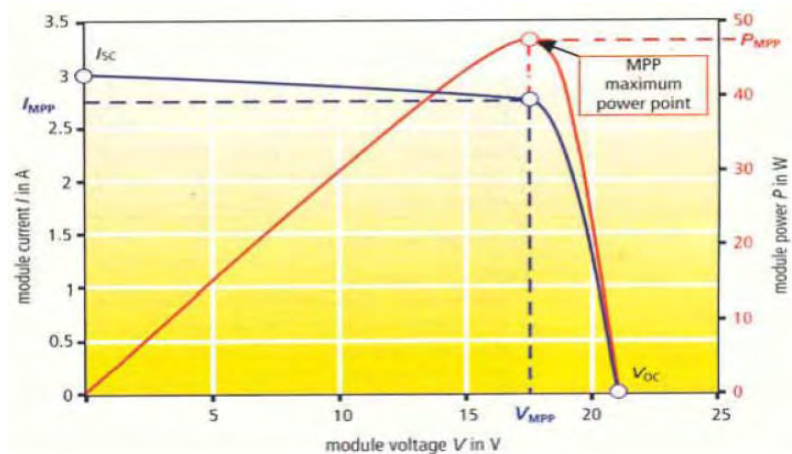
2.2 Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP)

Η ηλιακή ενέργεια είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη, όπως είναι ήδη γνωστό, μέσω των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ωστόσο, δεν αρκούν μόνο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία για την αξιοποίηση της ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν DC ρεύμα, το οποίο άλλοτε χρησιμοποιείται σε αυτή τη μορφή και άλλοτε μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο μέσω διατάξεων αντιστροφών. Ωστόσο, η εξαγωγή της ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι απλή διαδικασία και παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες. Μια από τις πιο σημαντικές δυσκολίες είναι η ανίχνευση του **Μέγιστου Σημείου Ισχύος** των φωτοβολταϊκών (σε διεθνή ορολογία **Maximum Power Point**).

Για να γίνει κατανοητό το τι ακριβώς είναι το Μέγιστο Σημείο Ισχύος, να αναφερθεί ότι μια συστοιχία φωτοβολταϊκών κάτω από σταθερή και ομοιόμορφη ακτινοβολία λειτουργεί σύμφωνα με μια χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος - τάσης. Σε αυτήν την καμπύλη υπάρχει ένα σημείο στο οποίο η συστοιχία φωτοβολταϊκών

λειτουργεί με τη μέγιστη απόδοση και παράγει τη μέγιστη ισχύ. Αυτό είναι και το Μέγιστο Σημείο Ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Να σημειωθεί ότι το σημείο αυτό δεν μπορεί να είναι γνωστό γιατί δεν είναι σταθερό, αφού η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας αλλάζει με την αλλαγή της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι το Σημείο Μέγιστης Ισχύος είναι διαφορετικό κατά τις πρωινές σε σχέση με τις απογευματινές ώρες όπου και η ηλιακή ακτινοβολία είναι ασθενέστερη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και δεδομένου ότι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι επιθυμητή η μέγιστη απόδοση των διατάξεων και η παραγωγή μέγιστης δυνατής ισχύος, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει ανάγκη κατασκευής διατάξεων, οι οποίες θα ανιχνεύουν το Μέγιστο Σημείο Ισχύος και θα εξαναγκάζουν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία να λειτουργεί σε αυτό το σημείο.

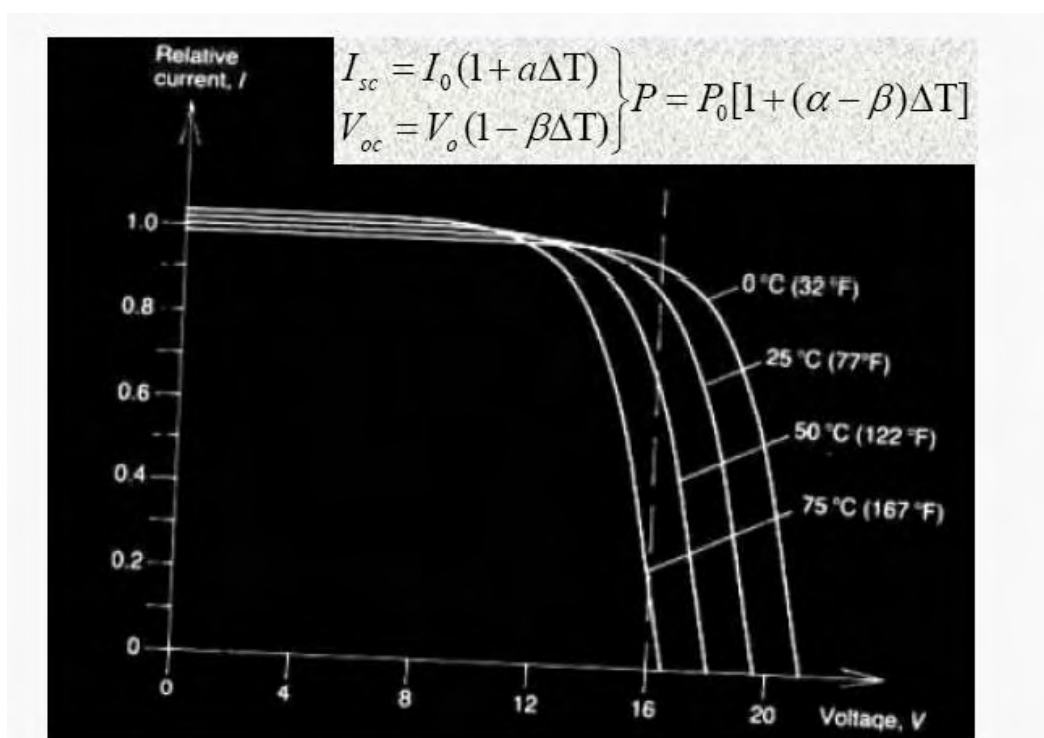


Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστική I/V φωτοβολταϊκού πλαισίου και σημείο μέγιστης απόδοσης (MPP).

Ο συνδυασμός τάσης και ρεύματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, γίνεται βέλτιστος όταν το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα με τιμή ίση με I_{mpp} και εμφανίζει διαφορά δυναμικού ίση με V_{mpp} . Ο βέλτιστος λοιπόν αυτός συνδυασμός (V_{mpp} , I_{mpp}), θα διασφαλίσει τη μέγιστη απόδοση του πλαισίου και φυσικά τη μέγιστη δυνατή ισχύ (P_{mpp}) στην έξοδο.

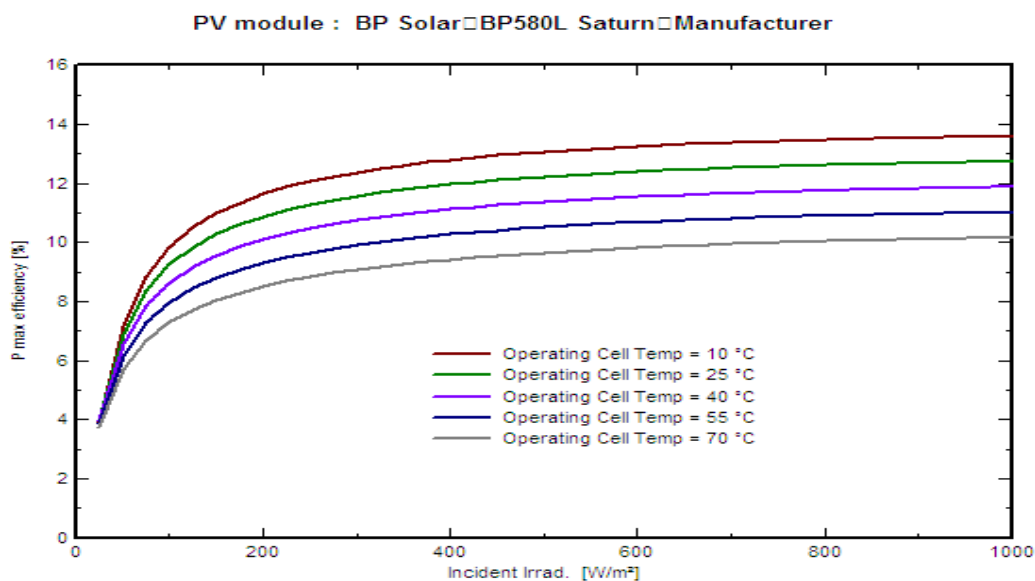
2.3 Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος(I), τάσης(V) και ισχύος(P)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ονομαστική απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων αναφέρεται σε θερμοκρασία κυψέλης 25 °C. Οποιαδήποτε λοιπόν απόκλιση από την ονομαστική θερμοκρασία των 25 °C, επηρεάζει ανάλογα ή δυσανάλογα την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου , δηλαδή επιφέρει μείωση ή αύξηση της ισχύος στην έξοδο του πλαισίου.



Εικόνα 2.2: Επίδραση της θερμοκρασίας της κυψέλης στη χαρακτηριστική I/V του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Από την εικόνα 2.2, φαίνεται ότι αν η θερμοκρασία μειωθεί από 50°C σε 25°C , το ρεύμα από τη μια μειώνεται, ενώ η τάση αυξάνεται αλλά σε μεγαλύτερο ποσοστό απ' ότι μειώνεται το ρεύμα. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, η μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγει και τη λειτουργία του πλαισίου σε μεγαλύτερη τάση και μικρότερο ρεύμα. Καθώς λοιπόν η αύξηση της τάσης σε ποσοστό είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του ρεύματος, η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ θα είναι μεγαλύτερη στους 25°C απ' ότι στους 50°C.



Εικόνα 2.3: Επίδραση της θερμοκρασίας κυψέλης στην ισχύ εξόδου ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για δεδομένη ακτινοβολία.

Παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται και από το σχήμα 2.3. Στο σχήμα 2.3 φαίνεται ότι όσο η θερμοκρασία κυψέλης μειώνεται, η απόδοση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου μετατοπίζεται προς τα πάνω, δηλαδή αυξάνεται. Τυπικές τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή είναι για το ρεύμα 0.03%/K, για την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} -0.37%/K και για την ισχύ -0.5%/K.

2.4 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ήλιου υπολογίζεται ότι είναι περίπου 6000 K. Η τεράστια αυτή θερμοκρασία ηλιακής ακτινοβολίας εκπέμπει στη γη με μέγιστη πυκνότητα ροής περίπου $1,0 \text{ kW/m}^2$ και με μήκος κύματος μεταξύ 0,3 και 2,5 μm . Αυτή είναι η λεγόμενη μικρή ακτινοβολία κυμάτων.

Από την άλλη πλευρά, η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα της Γης είναι περίπου 230K κατά μέσο όρο και στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 260-300 K, η οποία παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας εξαιτίας της εισερχόμενης ακτινοβολίας που αντανακλά πίσω στο διάστημα. Αυτή η εξερχόμενη ακτινοβολία εμφανίζεται σε ένα μήκος κύματος υπέρυθρης ζώνης συχνοτήτων μεταξύ 5 και 25 μm , το οποίο ονομάζεται μεγάλη ακτινοβολία κυμάτων.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη Γη είναι 5,4 εκατ. exajoules (10^{18} joules). 30% αυτής της ακτινοβολίας αντανακλάται πίσω από την ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο 70% μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές ενέργειας. Αυτό το 70%

(3,8 exajoules) είναι 10.000 φορές το ποσοστό της κατανάλωσης των ορυκτών και πυρηνικών καυσίμων για το 2002.

Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος (*Irradiance*) ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε : (W/m^2). Συμβολίζεται γενικά με το γράμμα G . Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό, αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

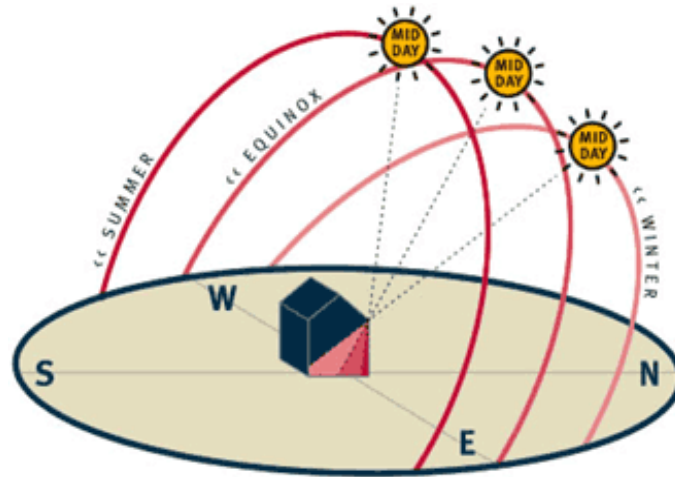
Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή: $G_{sc} = 1353 \text{ (W}/\text{m}^2)$ και ονομάζεται ηλιακή σταθερά.

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 αυτή, κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

2.5 Ηλιακή γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει τεράστιες διαφορές και είναι σε αναλογία με το χρόνο, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες, την υγρασία, κλπ. Επιπλέον, επηρεάζεται σημαντικά και από άλλους παράγοντες όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος και τις ηλιακές κηλίδες.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η τοποθεσία που λαμβάνει την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια ενός έτους, λόγω της περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο, η τοποθεσία λαμβάνει διάφορες θέσεις και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της απόκλισης δ° , η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής που αρχίζει από το κέντρο της γης μέχρι το κέντρο του ήλιου και τον Ισημερινό (Σχήμα 2.4) . Οι ακραίες τιμές για το Βόρειο ημισφαίριο είναι $+23,45^\circ$ στις 21 Ιουνίου και $-23,45^\circ$ στις 21 Δεκεμβρίου.



Εικόνα 2.4: Πορεία ήλιου

Πυρανόμετρο

Ένα από τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο. Το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ολόκληρο το ηλιακό φάσμα, η οποία προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια και προέρχεται τόσο απευθείας από τον ήλιο όσο και από την σκέδαση στα συστατικά της ατμόσφαιρας. Είναι σχεδιασμένο να δέχεται ακτινοβολία από ένα οπτικό πεδίο 180 μοιρών και δεν απαιτεί τροφοδοσία για να λειτουργήσει. Έτσι εφόσον το πυρανόμετρο είναι σχεδιασμένο να αντιδρά σε όλα τα μήκη κύματος του ηλιακού φωτός, είναι σε θέση να μας δώσει την ολική ενέργεια του προσπίπτοντος ηλιακού φάσματος.

Τοποθετείται πλήρως οριζοντιωμένο και μετρά συγχρόνως την άμεση και την διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες όμως γίνονται αισθητές σαν το γινόμενο της ροής της ακτινοβολίας και του συνημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης, λόγω της κλίσης της αισθητήριας επιφάνειας σε σχέση με τις ακτίνες του φωτός.



Εικόνα 2.5: Ένα τυπικό πυρανόμετρο με άσπρες και μαύρες περιοχές

Για την μέτρηση της πυκνότητας ροής της ακτινοβολίας, απαιτείται εξ' ορισμού η απόκριση στην δέσμη του φωτός να μεταβάλλεται ανάλογα με το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης. Για παράδειγμα έχουμε την μέγιστη απόκριση για κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας και μηδενική απόκριση για γωνίες πρόσπτωσης 90 μοιρών. Συνεπώς το πυρανόμετρο πρέπει να έχει συνημιτονική απόκριση η οποία να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ιδανική χαρακτηριστική του συνημίτονου.

Για την καλύτερη αξιοπιστία των μετρήσεων το πυρανόμετρο πρέπει να τοποθετείται σε θέση με ελάχιστα εμπόδια ώστε να δέχεται ακτινοβολία από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα του ουράνιου θόλου, να έχει δηλαδή ελεύθερο ορίζοντα. Τα πυρανόμετρα είναι τα όργανα που χρησιμοποιούνται κατεξοχήν για μετρήσεις σχετικές με την ηλιακή ενέργεια, λόγω του ότι ανταποκρίνονται σε ολόκληρο το ηλιακό φάσμα, η δε γεωμετρία τους προσομοιάζει τη γεωμετρία πολλών από τις διατάξεις συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Συχνά το πυρανόμετρο τοποθετείται στο ίδιο επίπεδο με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ώστε να είναι σε θέση να μετράει την επικείμενη ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή την επιφάνεια.

2.6 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η αποδοτική λειτουργία των ΦΒ συστημάτων εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από την σωστή τοποθέτηση και διάταξη των πλαισίων. Η πιο αποδοτική περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών, δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος.

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε, κατ' αρχήν, σε μια απλή μέθοδο προσδιορισμού του προσανατολισμού του συλλέκτη και στη συνέχεια θα εξετάσουμε σε συντομία τους διάφορους τρόπους τοποθέτησης των συλλεκτών, με βασική απαίτηση τη μεγιστοποίηση της ημερησίως συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

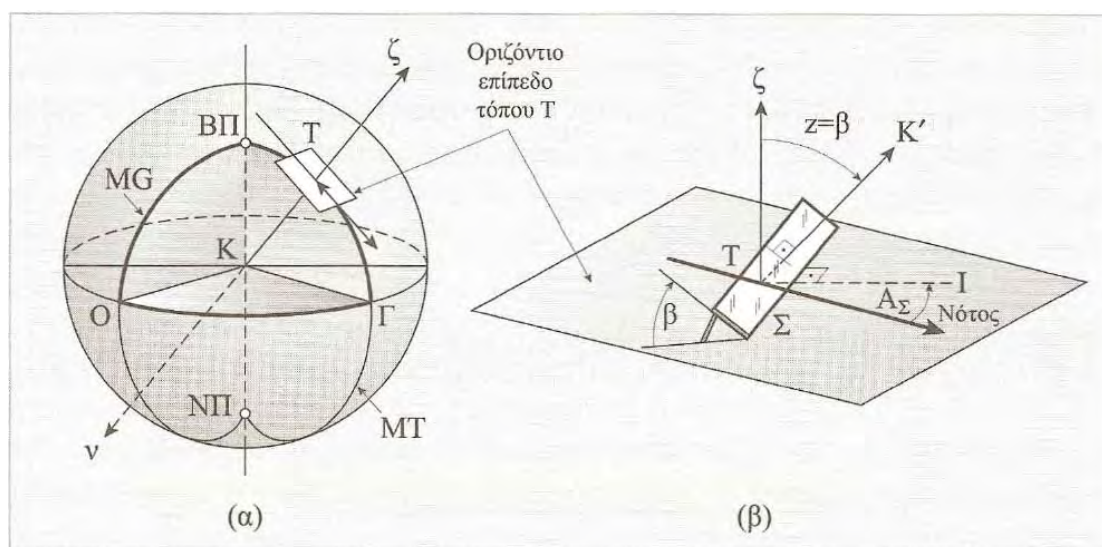
2.6.1 Στοιχεία προσδιορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη

Κάθε τύπος πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του :

α) Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο $ΟΓ$, πάνω στον Ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich ($ΜΓ$), από $0-180^\circ$ Ανατολικά και από $0-180^\circ$ Δυτικά.

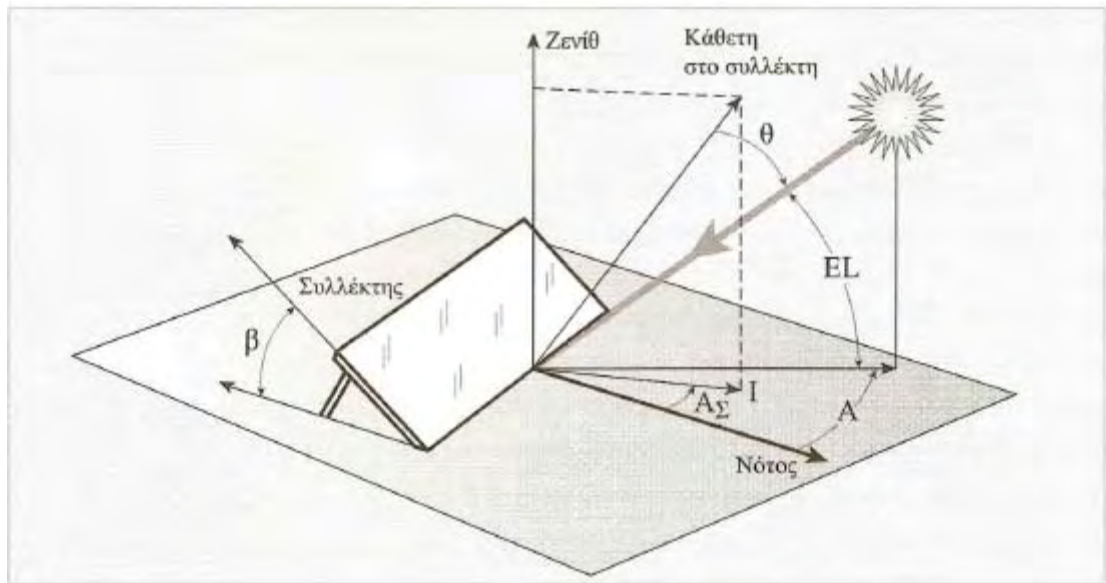
β) Το γεωγραφικό πλάτος, (φ), που καθορίζεται από το τόξο $ΓΤ$, πάνω στο μεσημβρινό του τόπου $ΜΤ$, με αναφορά τον Ισημερινό, από $0-90^\circ$ Βόρεια και $0-90^\circ$ Νότια.

Ας θεωρήσουμε έναν επίπεδο συλλέκτη, Σ , τοποθετημένο έτσι ώστε το επίπεδό του να σχηματίζει γωνία β , ως προς τον ορίζοντα. Η γωνία κλίσης του συλλέκτη, β , ισούται με τη ζενίθια γωνία, z , της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη (TK'), η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0° (Ζενίθ) έως 180° (Ναδίρ).



Εικόνα 2.6: (α) Παράδειγμα τόπου T , πάνω στην επιφάνεια της γης, ο οποίος προσδιορίζεται από το γεωγραφικό μήκος του, ίσο με το τόξο $ΟΓ$, και από το πλάτος του, που καθορίζεται από το τόξο $ΓΤ$, πάνω στο μεσημβρινό του τόπου $ΜΤ$. (β) A_Σ και β , αζιμούθιο και γωνία κλίσης του συλλέκτη Σ .

Η γωνία A_Σ , μεταξύ της κατακόρυφης προβολής TI , της καθέτου στο συλλέκτη, TK' πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με τη διεύθυνση του νότου, ονομάζεται αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη και παίρνει τιμές από $+180^\circ$ μέχρι -180° . Χαρακτηριστικές θέσεις $+180^\circ$ (Βορράς), $+90^\circ$ (Ανατολή), 0° (Νότος), -90° (Δύση) και -180° (Βορράς). Όταν ο συλλέκτης στραφεί ώστε οι ακτίνες του ήλιου (απευθείας ακτινοβολία), να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του, τότε το ύψος του ήλιου EL και η γωνία κλίσης β , του συλλέκτη δίδουν άθροισμα 90° ($EL+\beta=90^\circ$).



Εικόνα 2.7: Η γωνία θ , μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, μια δεδομένη χρονική στιγμή, καθορίζεται από τον προσανατολισμό του συλλέκτη (Αζιμούθιο A_{Σ} και γωνία κλίσης β) και τις σφαιρικές συντεταγμένες της θέσης του ήλιου ως προς το σύστημα του παρατηρητή, στον τόπο T, δηλαδή αζιμούθιο A και το ύψος του (Elevation) EL.

Η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, γίνεται με μηχανισμούς, οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα. Η γωνία θ , που σχηματίζουν, μια δεδομένη χρονική στιγμή, οι ηλιακές ακτίνες (απευθείας ακτινοβολία), με την κάθετη σ' έναν επίπεδο συλλέκτη (σχήμα 2.8), γωνίας κλίσης β και αζιμουθιακής γωνίας A_{Σ} , δίδεται από τη σχέση:

$$\cos(\theta) = \cos(EL) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(A - A_{\sigma}) + \sin(EL) \cdot \cos(\beta)$$

όπου A η αζιμουθια γωνία και EL το ύψος του ήλιου την ίδια χρονική στιγμή.

Αν η θέση του κτιρίου δεν επιτρέπει τον προσανατολισμό των πλαισίων προς τον Νότο τότε αυτά τοποθετούνται είτε προς την Ανατολή, είτε προς την Δύση, όχι όμως προς τον Βορρά γιατί τότε έχουν πολύ χαμηλή απόδοση. Μόνο για οριζόντια πλαίσια επιτρέπεται ο προσανατολισμός προς τον Βορρά. Στις περιπτώσεις που η τοποθέτηση δεν καθορίζεται από την κλίση της επιφάνειας που τοποθετούνται (π.χ. πλαϊνοί τοίχοι), η βέλτιστη γωνία κλίσης στο βόρειο ημισφαίριο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και την περίοδο λειτουργίας του συστήματος. [13]

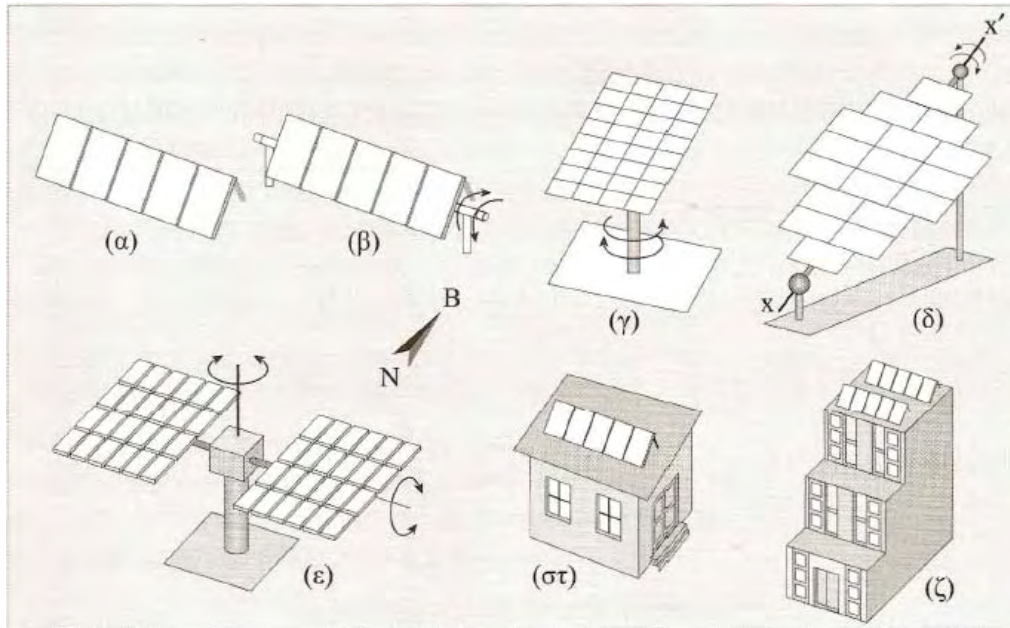
2.6.2 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών. Σταθερής στήριξης, εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης και συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Solar Tracker). Το σχήμα 2.8 δείχνει μερικούς χαρακτηριστικούς τρόπους στήριξης ΦΒ συστοιχιών.

α) Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης. Γωνία κλίσης για βέλτιστη ενεργειακή απολαβή

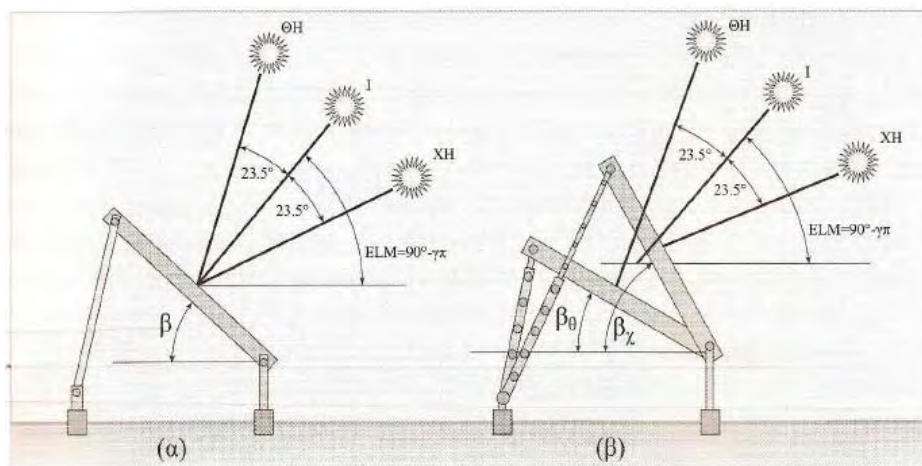
Η απουσία κινητών μερών κατά την στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτίρια (σχήμα 2.8), περιπτώσεις (α), (στ), (ζ). Στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων, τα πλαίσια τοποθετούνται με σταθερή γωνία κλίσης και λόγω της συνεχούς μετακίνησης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων διαφέρει από εποχή σε εποχή.

Η πιο αποδοτική περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών, δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης (σχήμα 2.7). Όταν η γωνία κλίσης ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο (το μεσημέρι των ισημεριών).



Εικόνα 2.8: (α) Τοποθέτηση ΦΒ συστοιχίας με σταθερή γωνία κλίσης (β) Συστοιχία με δυνατότητα στροφής γύρω από οριζόντιο άξονα (αλλαγή ζενιθίας γωνίας της συστοιχίας) (γ) Συστοιχία σε ηλιοτρόπιο αξιμουθιακής στροφής, με σταθερή γωνία κλίσης (δ) Συστοιχία με δυνατότητα στροφής ως προς τον άξονα (χχ'), ο οποίος διατηρείται κεκλιμένος συνήθως υπό γωνία ίση (ή μερικές φορές, λίγο μικρότερη) του γεωγραφικού πλάτους του τόπου, δηλαδή ως προς άξονα παράλληλο προς τον πολικό άξονα της γης. (ε) Τυπική διάταξη ηλιοτροπίου (Tracker) δύο αξόνων. (στ) ΦΒ συστοιχία στη στέγη κατοικίας (ζ) ΦΒ πλαίσια τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις σε μεγάλη οικοδομή (τοποθέτηση υπό κλίση στη στέγη και σε προβόλους και κατακόρυφα (facade) σε όψεις νότιου προσανατολισμού).

Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες, στην περιοχή, μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, απευθείας και διάχυτης, καθώς και το albedo του εδάφους (η διάχυτη ανακλαστικότητα, δηλαδή το ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης και ότι την καλύπτει, αναφέρεται, στη βιβλιογραφία, ως albedo). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, επιβάλλεται να καταγραφούν στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες γωνίες κλίσης συλλέκτη. Συνήθως επειδή τέτοιες μετρήσεις δεν είναι διαθέσιμες, αρκούμαστε σε μετρήσεις σε οριζόντια τοποθετημένο αισθητήρα (πυρανόμετρο), για μια σειρά ετών, γι' αυτή την περιοχή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη πιθανή διαφοροποίηση του albedo του τόπου. Με βάση τις μετρήσεις αυτές προσδιορίζεται η ολική ακτινοβολία του συλλέκτη, απ' όπου προκύπτει, προσεγγιστικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης του, για τη συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 2.9: (α) Σταθερή στήριξη σε ετήσια βάση, με γωνία κλίσης $\beta = \varphi - (10^\circ \text{ έως } 15^\circ)$ (β) Εποχική ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη δύο φορές μέσα στο έτος. ΘΗ: Θερινό Ηλιοστάσιο. ΧΗ: Χειμερινό Ηλιοστάσιο. Ι: Ισημερίες.

Αν δε διατίθενται μετεωρολογικά δεδομένα για τον τόπο εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος, ο οποίος δεν πρέπει να σκιάζεται από εμπόδια, κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλύτερο που έχουμε να κάνουμε είναι να επιλέξουμε γωνία κλίσης συλλέκτη ίση με $\beta = \varphi - (5^\circ \text{ έως } 10^\circ)$. Κατά πάσα πιθανότητα, προσεγγίζει τη θέση της καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, ετησίως.

Τέλος, αν ο συλλέκτης πρέπει να εγκατασταθεί σε περιοχές με φυσικά εμπόδια, που τον σκιάζουν ορισμένη περίοδο της ημέρας, πχ. κτίρια ή δένδρα, τότε ο συλλέκτης προσανατολίζεται έτσι ώστε να προκύπτει η βέλτιστη απόδοση. Κατά τη σύνταξη της σχετικής μελέτης, λαμβάνεται υπόψη, αφενός το τμήμα του ουρανού που αποκόπτεται από τα εμπόδια, αφετέρου, το μικροκλίμα της περιοχής.

Στον πίνακα 2.1 δίνονται ενδεικτικές τιμές γωνιών κλίσης συλλεκτών σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη.

Περιοχή τιμών γεωγραφικού πλάτους (φ) του τόπου	Ενδεικτικές τιμές γωνίας κλίσης συλλέκτη με νότιο προσανατολισμό για το βόρειο ημισφαίριο και αντιστοίχως βόρειο προσανατολισμό για το νότιο ημισφαίριο
Μικρά γεωγραφικά πλάτη, γύρω απ' τον Ισημερινό, $\varphi \leq 20^\circ$	Ουσιαστικά 0° . Στην πράξη συνίσταται μια μικρή γωνία κλίσης, 5° - 10° , ώστε η ροή του νερού πλύσης ή της βροχής, να απομακρύνει τα σώματα που επικάθονται στην όψη του ΦΒ πλαισίου (σκόνη, φύλλα, περιττώματα πουλιών κ.ά.)
Μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, $\varphi > 20^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> Σταθερή τοποθέτηση, απαίτηση για μέγιστη αποδοτικότητα

	ετησίως φ -(5° έως 10°) • Σταθερή τοποθέτηση. Κύρια απαίτηση κατά τη χειμερινή περίοδο $\varphi+10^\circ$ • Ρυθμιζόμενη κλίση δυο θέσεων ετησίως. Θερινή $\rightarrow \varphi-15^\circ$ Χειμερινή $\rightarrow \varphi+15^\circ$
--	--

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές τιμές γωνιών κλίσης σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη

β) Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη

Στο σχήμα 2.9β παριστάνεται μια διάταξη συλλεκτών, με νότιο προσανατολισμό ($A_s=0$), η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος των αλλαγών. Οι τυπικές θέσεις του συλλέκτη είναι δύο : μια για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-21 Σεπτεμβρίου), με κλίση ίση με $\beta_\theta=\{\varphi-(10^\circ \text{ έως } 15^\circ)\}$, τιμή δηλαδή μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους του τόπου κατά 10° έως 15° , και μια για το χειμερινό (22 Σεπτεμβρίου – 21 Μαρτίου), με κλίση ίση με $\beta_\chi=\{\varphi-(10^\circ \text{ έως } 15^\circ)\}$. Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερής κλίσης όλο το έτος, έτσι και στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο, απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασίας- υγρασίας- ηλιοφάνειας) και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει τη διάχυτη ανακλαστικότητα του (albedo).

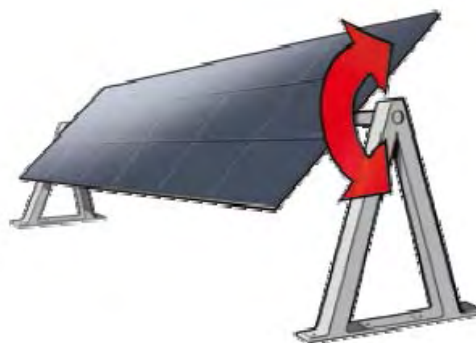
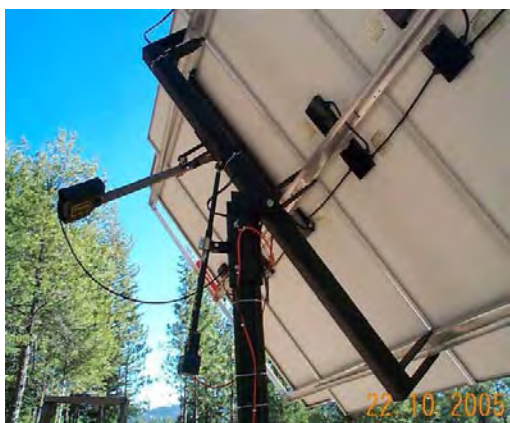
γ) Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από έναν ή δύο άξονες

I.Στροφή γύρω από έναν άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από έναν άξονα, και στο τέλος της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής, συνήθως στο νοτιά. Το πρωί με την ανατολή του ήλιου, στρέφεται, έτσι ώστε να δέχεται από τον ήλιο το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας του. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

α) Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο : Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα (σχήμα 2.8γ), έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη, του οποίου η γωνία κλίσης παραμένει σταθερή κατά την ημερήσια κίνησή του.

β) Ηλιοτρόπιο πολικού άξονα : Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα $\chi\chi'$, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (σχήμα 2.8ε). Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη και περιέχει τον άξονα $\chi\chi'$. Κατά τη διάρκεια του έτους, η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται στο διάστημα -23.5° έως $+23.5^\circ$.



Εικόνα 2.10: Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον κάθετο άξονα (Περιστροφή περί τον άξονα X) (http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon3.png)

II. Στροφή γύρω από δύο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο (2) άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο, συνήθως διαδοχικών, κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε βηματικούς είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών, για τον προσανατολισμό του επιπέδου, κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία (σχήμα 2.8ε). Ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με ειδικές διατάξεις (Encoders). Όμοιο μηχανικό σύστημα, σε πολύ μικρότερες διαστάσεις, χρησιμοποιείται για τη στροφή του πυρηλιομέτρου, οπτικού οργάνου παρακολούθησης του ήλιου και καταγραφής της πυκνότητας ισχύος της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η διάταξη που περιγράψαμε, ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker) δυο αξόνων και χαρακτηρίζεται από το ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα (ή σχεδόν κάθετα) στην επιφάνεια του. Η διάταξη, με τη δύση του ήλιου, επιστρέφει σε θέση αναφοράς, που χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και μικρή γωνία κλίσης, προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο, μέχρι την ανατολή. Λίγο πριν την ανατολή

του ήλιου, ο μηχανισμός στρέφει το συλλέκτη, έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες τότε, να προσπίπτουν κάθετα σ' αυτόν. Από τη χρονική στιγμή αυτή, αρχίζει η παρακολούθηση του ήλιου. Όσο μικρότερη η περίοδος ενεργοποίησης του μηχανισμού στροφής, τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η κατάσταση συνεχούς κάθετης πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Μια γωνία 10° , μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη, προκαλεί μείωση $\sim 1.5\%$, στην πυκνότητα ισχύος της απευθείας συνιστώσας στο επίπεδο του συλλέκτη, ακτινοβολίας. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη από τη συστοιχία, Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια.

Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου, δύο αξόνων, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής, εξαιτίας ισχυρού ανέμου. Για το λόγο αυτό, σε συστήματα με μηχανική κίνηση για τον προσανατολισμό των συλλεκτών προς τον ήλιο, ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου, έτσι ώστε, στην περίπτωση ισχυρών ανέμων, οι συλλεκτικές επιφάνειες να διατάσσονται οριζόντια. Σ' αυτή τη θέση παρουσιάζουν μικρή μετωπική επιφάνεια προς τον άνεμο.



Εικόνα 2.11: Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δύο άξονες (http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon3.png)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Απόδοση του Φ/Β στοιχείου η πλαισίου

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες του Φ/Β στοιχείου είναι η απόδοση. Απόδοση ορίζεται ως η ισχύς (P_{\max}) που παράγεται από το στοιχείο στο μέγιστο σημείο ισχύος υπό κανονικές συνθήκες δια την ισχύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και την επιφάνεια των Φ/Β στοιχείων. Μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$n = \frac{P_{\max}}{E \cdot A}$$

Όπου:

E: εισερχόμενη ακτινοβολία [W / m^2]

A: η συνολική επιφάνεια ΦΒ [m^2]

Η εξίσωση (3.1) καταδεικνύει σαφώς την θερμοκρασιακή εξάρτηση των ΦΒ στοιχείων. Καθώς η θερμοκρασία του στοιχείου (T_{PV}) αυξάνεται, η ηλεκτρική απόδοση των στοιχείων γίνεται όλο και χαμηλότερη από την απόδοση σε κανονικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσό των ηλεκτρονίων που απελευθερώνονται από τα εισερχόμενα φωτόνια παραμένει σταθερή με την αύξηση της θερμοκρασίας, ωστόσο, το ρεύμα διαρροής αυξάνεται.

$$n_e = n_0 [1 - 0,0045(T_{PV} - 25)] \quad (3.1)$$

Όπου:

n_e : είναι η απόδοση του κελιού ΦΒ στοιχείου σε κανονικές συνθήκες

T_{PV} : η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου [C]

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των Φ/Β στοιχείων είναι η ένταση της ακτινοβολίας. Τα Φ/Β στοιχεία δοκιμάζονται σε κανονικές συνθήκες με ακτινοβολία $1000 W/m^2$. Η μεταβολή της ακτινοβολίας θα μεταβάλει και την ισχύ των ΦΒ στοιχείων. Με μεγαλύτερη ακτινοβολία, πιο πολλά ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς την υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα, μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2 Επίδραση της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει αξιοσημείωτα την απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου είναι η θερμοκρασία των Φ/Β στοιχείων του.

Έχει μετρηθεί ότι κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα Φ/Β στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Αν T_c είναι η θερμοκρασία του στοιχείου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξαρτάται αυτή γραμμικά από την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a και την ηλιακή ακτινοβολία G , ως εξής:

$$T_c = T_a + h_w \cdot G \quad (3.2)$$

Όπου h_w είναι ένας χαρακτηριστικός συντελεστής των Φ/Β πλαισίων, με τιμή συνήθως:

$$h_w = 0,03m^2 \cdot ^\circ C / W \quad (3.3)$$

Αυτό συνεπάγεται ότι ένα Φ/Β πλαίσιο που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία $1kW/m^2$, θα έχει θερμοκρασία κατά $30^\circ C$ μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία ακόμα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου και γίνεται καλύτερη απαγωγή θερμότητας όσο η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη. Ως γενικός κανόνας στους υπολογισμούς Φ/Β εγκαταστάσεων, που επαληθεύεται και από μετρήσεις σε πραγματικές εγκαταστάσεις, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου κατά $30^\circ C$ από αυτή του περιβάλλοντος.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου δίνονται συνήθως σε στάνταρ συνθήκες (STC : Standard Test Conditions, δηλαδή θερμοκρασία $25^\circ C$, AM=1,5 και ηλιακή ακτινοβολία $1kW/m^2$). Αν υποθέσουμε ότι $n_{m,STC}$ η είναι η απόδοση του φ/β πλαισίου σε STC, τότε για να υπολογιστεί η απόδοση σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία χρειάζεται ένας διορθωτικός θερμοκρασιακός συντελεστής (σ_θ), ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = 1 - (T_c - 25) \cdot 0,005 \quad (3.4)$$

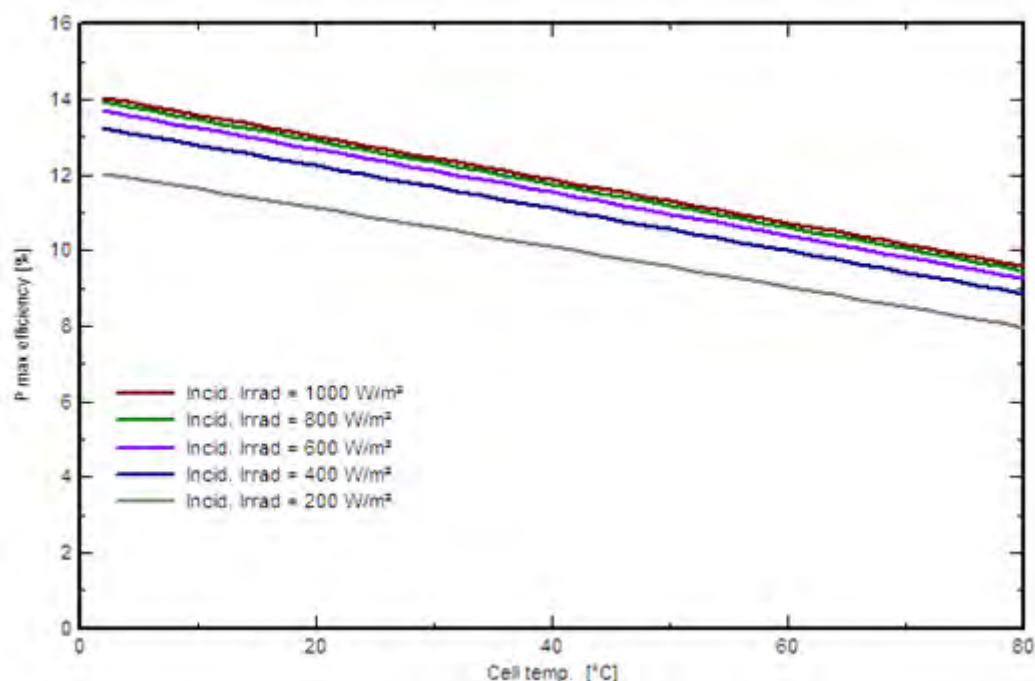
Η σχέση αυτή ισχύει για τα συμβατικά στοιχεία πυριτίου και υποδηλώνει μείωση της απόδοσης κατά 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τη

θερμοκρασία των 25°C. Τελικά η απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία προκύπτει:

$$n_m = \sigma_\theta \cdot n_{m,25^\circ C} \quad (3.5)$$

3.3 Επίδραση της ακτινοβολίας στο βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου

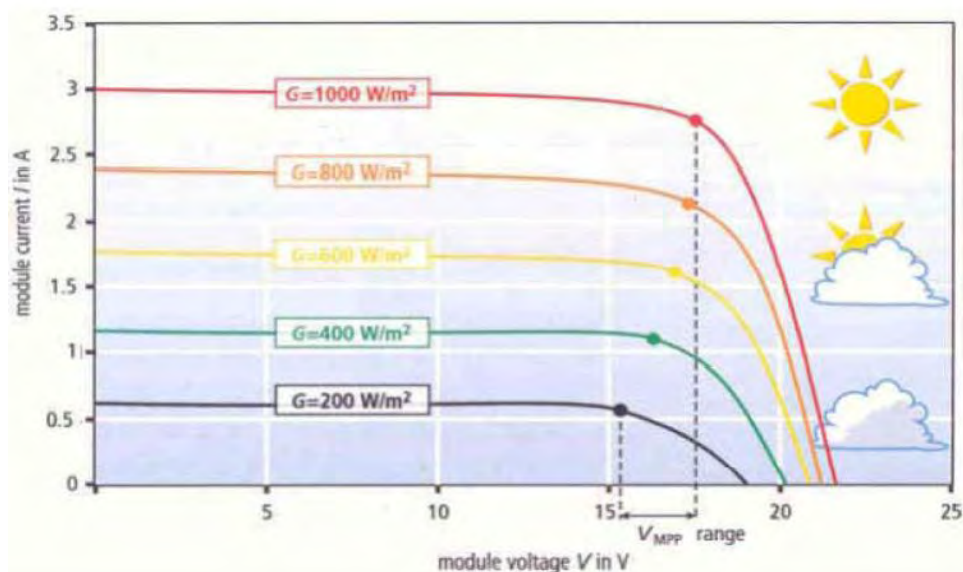
Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ο ρόλος της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ενέργεια) είναι και ο πιο καθοριστικός για την εμφάνιση και την διατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου, που όπως έχει ήδη αναφερθεί χωρίς αυτό δεν θα ήταν δυνατή η κατασκευή και η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 3.1: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου για δεδομένη θερμοκρασία

Από την εικόνα 3.1, παρατηρείται ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία και η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου συνδέονται γραμμικά. Από το σχήμα 3.1 φαίνεται ότι αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συνεπάγεται και αύξηση της απόδοσης του πλαισίου, ενώ αντιθέτως μειωμένη προσπίπτουσα ακτινοβολία θα έχει σαν αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ακόμη για δεδομένη θερμοκρασία (π.χ 25°C),

παρατηρείται ότι η αύξηση της ακτινοβολίας επιφέρει και αυξημένη απόδοση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου.



Εικόνα 3.2: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP).

Η επίδραση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο μέγιστο σημείο ισχύος (MPP) παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2. Αν συγκριθεί η ακτινοβολία με τιμή 200 W/m^2 , με την ακτινοβολία με τιμή 1000 W/m^2 παρατηρείται ότι το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) μεταβάλλεται σε μια νέα τιμή όπου τόσο το ρεύμα (I_{mpp}) όσο και η τάση (V_{mpp}) μέγιστης λειτουργίας, αυξάνονται. Συγκεκριμένα, το ρεύμα από 0.6 A και η τάση από 15.3 V (όπου δηλαδή $P_{\text{mpp}}=0.6 \cdot 15.3=9.18 \text{ W}$) στη λειτουργία υπό ακτινοβολία 200 W/m^2 , αυξάνονται στην τιμή των 2.8 A (I_{mpp}) και 18 V (V_{mpp}) αντίστοιχα (όπου $P_{\text{mpp}}=2.8 \cdot 18=50.4 \text{ W}$) στη λειτουργία υπό ακτινοβολία. Αυξημένη λοιπόν ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, σημαίνει και αυξημένη ισχύς στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

3.4 Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.α. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές 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 εύκολα να τη ξεπλύνει.

Επομένως είναι σημαντικό όταν η Φ/Β γεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή, που εκτιμάται ότι η ρύπανσή της θα είναι σημαντική να προβλεφθεί στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σ_p). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι τελείως καθαρή. Η τιμή του σ_p είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φ/β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Τελικά η απόδοση ενός φ/β πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη την ρύπανση της επιφάνειάς του, προκύπτει:

$$n_m = \sigma_p \cdot n_{m,k}$$

όπου: $n_{m,k}$ η απόδοση του, όταν είναι καθαρό.

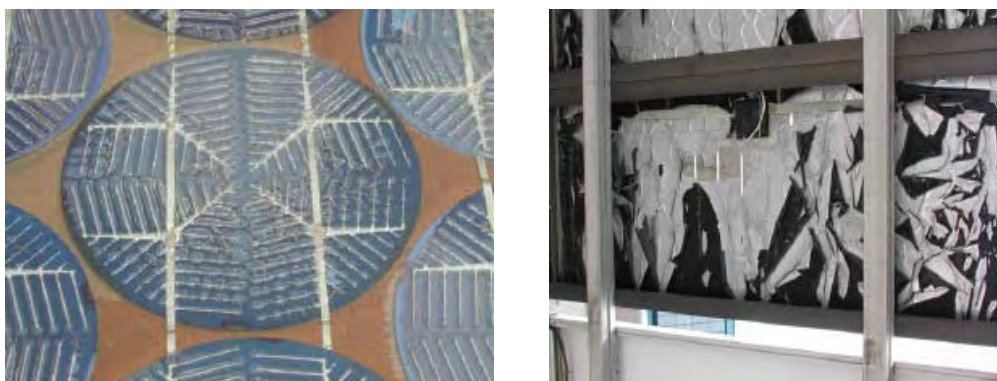
3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη σχετικά χαμηλή τιμή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, του βαθμού απόδοσης είναι :

1. Ανάκλαση: Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα και/ή επίστρωση με ανακλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.
2. Προβλήματα σκιασμών: Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύναται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτίρια κλπ. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από

παρακείμενα κτίρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.

3. Σκίαση από τις επαφές: Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου -p όσο και του υλικού τύπου -n συνεπάγεται τη δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του κυττάρου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
4. Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων : Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το κύτταρο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση στο 44%.
5. Επανασύνδεση : Αυτή μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και στις ατέλειες του υλικού.
6. Γήρανση : Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του ΦΒ πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.3: (α) Παράδειγμα γήρανσης ΦΒ κυττάρου όπου φαίνεται ο αποχρωματισμός του και το ράγισμα του γυαλιού κάλυψης (β) Πίσω όψη του πλαισίου όπου φαίνεται σπασμένο το ειδικό πλαστικό υλικό προστασίας από την υγρασία

Αν και μερικές από αυτές τις περιπτώσεις φαίνονται καταστροφικές για τη λειτουργία του ΦΒ πλαισίου, εντούτοις προκαλείται μονάχα μείωση της παραγωγής ισχύος και όχι ολική καταστροφή του. Συνεπώς κατά τον υπολογισμό ενός ΦΒ συστήματος σε ορισμένη εφαρμογή, επιβάλλεται να ληφθεί υπόψη η διαχρονική μείωση της αποδοτικότητας τους, με εκτίμηση ενός τυπικού συντελεστή γήρανσης. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες, ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης)

3.6 Απώλειες σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Όπως κάθε ηλεκτρικό σύστημα, έτσι και τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν παρουσιάζουν στην έξοδο τους την ίδια ποσότητα ενέργειας με αυτήν που υπάρχει στην είσοδο τους. Οι σημαντικότερες απώλειες λοιπόν που παρουσιάζει κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα κατά τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας δια μέσω αυτού, είναι οι εξής:

- Θερμικές απώλειες (Thermal losses).
- Απώλειες ποιότητας πλαισίου (Module quality losses).
- Απώλειες ανομοιομορφίας πάνελ (Array mismatch losses).
- Απώλειες γωνίας πρόσπτωσης (Incidence Angle Modifier).

3.6.1 Θερμικές απώλειες (THERMAL LOSSES)

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στη διαφορετική θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας (θερμοκρασία κυψέλης) με την θερμοκρασία των 25°C . Η θερμική

λοιπόν συμπεριφορά του πλαισίου που επηρεάζει έντονα την ηλεκτρική απόδοση του πλαισίου, καθορίζεται από μια θερμική ισορροπία μεταξύ της θερμοκρασίας των 25°C και της εσωτερικής θερμοκρασίας του πλαισίου. Στα λογισμικά για τον υπολογισμό των απωλειών αυτών χρησιμοποιείται ο συντελεστής k ο οποίος αντιπροσωπεύει την μετάδοση θερμότητας από την εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου προς την εσωτερική. Αποτελείται από ένα σταθερό όρο k_c και ένα μεταβλητό k_v ο οποίος είναι ανάλογος της ταχύτητας του αέρα.

$$K=K_c+K_v*v \quad (3.6)$$

Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από τον τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων. Όταν στα πλαίσια παρουσιάζεται ελεύθερη κυκλοφορία αέρα, αυτοί οι συντελεστές αναφέρονται και στις 2 πλευρές του πλαισίου. Εάν το πίσω μέρος των πλαισίων είναι λίγο πολύ θερμικά απομονωμένο, τότε αυτό θα πρέπει τουλάχιστον θεωρητικά να μειωθεί μέχρι το μισό (δηλαδή η πίσω πλευρά δεν θα συμμετέχει καθόλου στην μεταφορά θερμότητας). Αρχικά στα λογισμικά λήφθηκε ότι $K_c=20\text{W/m}^2$ και $K_v=6\text{W/m}^2$. Αυτές οι τιμές αφορούσαν διάφορες εγκαταστάσεις που περιλάμβαναν πλαίσια που τοποθετήθηκαν χωρίς πίσω κάλυψη με ελεύθερη κυκλοφορία αέρα. Παρόλο που οι τιμές αυτές ήταν λογικές, εντούτοις τελικά απορρίφθηκαν γιατί καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα αέρα (δηλαδή ταχύτητα αέρα) πολύ χαμηλότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται στα λογισμικά. Για δεδομένα αέρα που ανταποκρίνονται στα λογισμικά, τελικά καθορίστηκε ότι $K_c=25\text{W/m}^2$ και $K_v=1.2\text{W/m}^2$. Όταν δεν είναι γνωστή η ταχύτητα του αέρα, τότε λαμβάνεται ίση με μια μέση τιμή της τάξεως του 1.5 m/s και πολλαπλασιάζεται με τον άλλοτε σταθερό όρο k_c , ενώ ο μεταβλητός όρος k_v λαμβάνεται ίσος με 0 (δηλαδή $K=k'_c=k_c*v=26*1.5=29\text{W/m}^2$).

Αξίζει να αναφερθεί εδώ ότι αν η θερμοκρασία κυψέλης είναι κάτω από την «ονομαστική», δηλαδή αν είναι μικρότερη από 25°C, τότε οι άλλοτε θερμικές απώλειες μετατρέπονται σε κέρδος ενέργειας. Αν δηλαδή $T_{\text{κυψέλης}} < 25^\circ\text{C}$, τότε κατά τον υπολογισμό τους οι θερμικές απώλειες προκύπτουν αρνητικές, γεγονός το οποίο υποδηλώνει κέρδος ενέργειας.

Εναλλακτικά στα λογισμικά, μπορεί να εισαχθεί από τον χρήστη η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από τα πλαίσια χωρίς πίσω κάλυψη, γνωστή και ως NOCT (Nominal Operating Collector Temperature) η οποία ορίζεται από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας οι οποίες είναι οι εξής:

Ακτινοβολία πρόσπτωσης: 800 W/m^2 .

Εσωτερική θερμοκρασία: 20°C .

Ταχύτητα του αέρα: 1m/s .

Οι τιμές αυτές αφορούν ανοικτό κύκλωμα, όπου δηλαδή το πάνελ δεν διαρρέεται από ρεύμα. Τα λογισμικά υπολογίζουν αμέσως την αντιστοιχία στους παράγοντες K_c και K_v .

3.6.2 Απώλειες ποιότητας πλαισίου (MODULE QUALITY LOSSES)

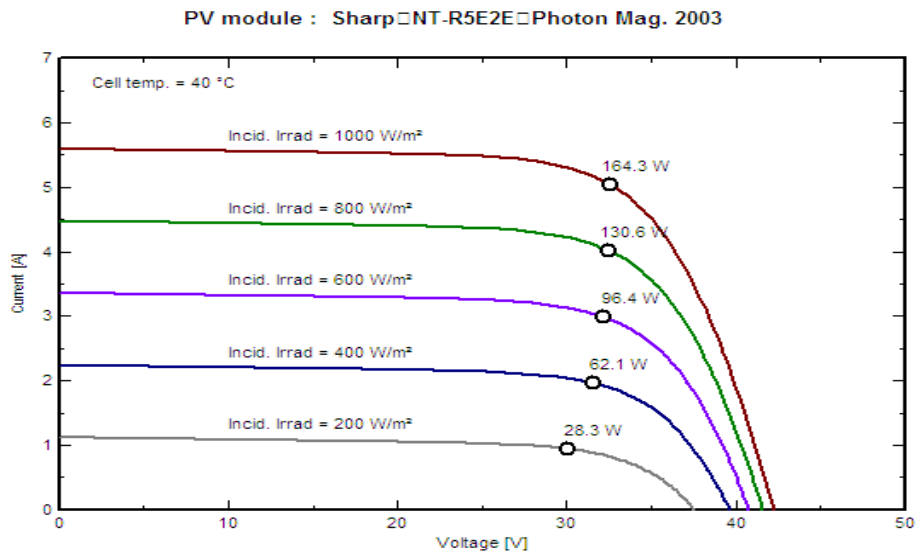
Συνήθως τα πλαίσια που διατίθενται στην αγορά, δεν υπακούουν πιστά στις ακριβείς ονομαστικές προδιαγραφές τους, όπως αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές των. Λόγω λοιπόν του γεγονότος της ανομοιότητας των ονομαστικών τιμών των πλαισίων και της μικρής αλλά υπαρκτής απόκλισης από τις ακριβείς ονομαστικές τιμές, κατά τη σύνδεση τους τα πλαίσια, παρουσιάζουν περαιτέρω απώλειες. Δεδομένου ότι τα πλαίσια σήμερα πωλούνται με δεδομένη και μικρή ανοχή από τις ονομαστικές προδιαγραφές, οι απώλειες λόγω κακής ποιότητας πλαισίου έχουν ελαχιστοποιηθεί και έτσι τυπική τιμή των απωλειών αυτών στα λογισμικά, είναι $\pm 1\%$.

3.6.3 Απώλειες ανομοιομορφίας πάνελ (ARRAY MISMATCH LOSSES)

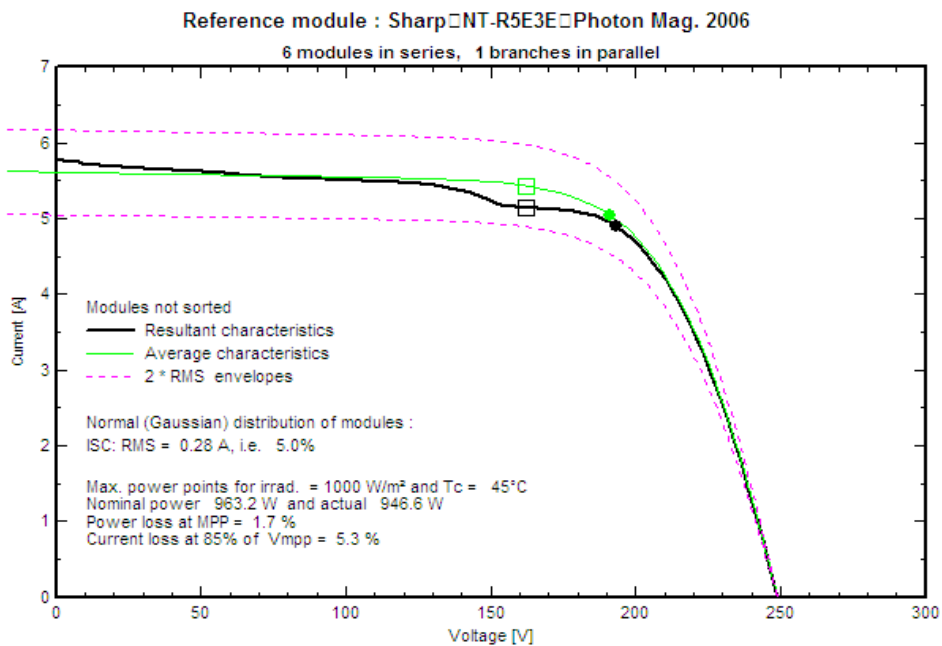
Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυττάρων για να διαμορφώσει μια σειρά μπορεί να προκαλέσει τα προβλήματα όταν δεν αντιστοιχίζονται τα χαρακτηριστικά των κυττάρων. Αυτό το πρόβλημα, γνωστό ως κακός συνδυασμός, μπορεί να μειώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της σειράς και να οδηγήσει σε μειωμένη από την αναμενόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο του πάνελ. Οι απώλειες λοιπόν αυτές σχετίζονται με το γεγονός ότι σε κάθε πάνελ, το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο από το οποίο απαρτίζεται το πάνελ, δεν υπακούει πιστά στην ίδια χαρακτηριστική ρεύματος τάσης I/V . Ως εκ τούτου, παρουσιάζονται πρόσθετες απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι οποίες και ονομάζονται απώλειες λόγω ανομοιομορφίας πάνελ.

Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω το διαγράμματα 3.1 και 3.2, στα οποία φαίνονται η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς για ένα πάνελ και η μέγιστη

αποδιδόμενη ισχύς για τη συστοιχία που αποτελείται από 6 πάνελ όμοια με αυτό του διαγράμματος 3.1 συνδεδεμένα σε σειρά, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3.1:Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς (MPP) για ένα πάνελ.



Διάγραμμα 3.2: Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς συστοιχίας που αποτελείται από 6 όμοια πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά.

Στο διάγραμμα 3.1 φαίνεται το μέγιστο σημείο λειτουργίας στο οποίο το συγκεκριμένο πάνελ αποδίδει την μεγαλύτερη δυνατή ισχύ. Για προσπίπτουσα ακτινοβολία 1000 W/m^2 , η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει στην έξοδο του το πάνελ αυτό, δίνεται υπό τάση $V_{\text{mpp}}=32.2\text{V}$ και $I_{\text{mpp}}=5.1\text{A}$. Στο διάγραμμα 3.2 που

αφορά τη συστοιχία που αποτελείται από 6 όμοια πάνελ όπως αυτό του διαγράμματος 3.1, συνδεδεμένα σε σειρά, με μαύρο χρώμα φαίνεται η τελική χαρακτηριστική της συστοιχίας. Η συνολική V'_{mpp} θα έπρεπε να είναι $6 * V_{mpp} = 6 * 34 = 204V$, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει. Η V'_{mpp} , όπως φαίνεται από το διάγραμμα 3.2 της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι $V'_{mpp} = 190V$, ενώ το I'_{mpp} παραμένει όντως το ίδιο, $I'_{mpp} = 5.1A$. Από τα διαγράμματα 3.1 και 3.2 φαίνεται λοιπόν ακριβώς η επίδραση της σε σειρά σύνδεσης θεωρητικά όμοιων αλλά στην πραγματικότητα ανόμοιων πάνελ όσον αφορά την χαρακτηριστική I/V , πάνελ.

Στα λογισμικά οι απώλειες αυτές λαμβάνονται ίσες με $\pm 1\%$.

3.6.4 Απώλειες γωνίας πρόσπτωσης (INCIDENCE ANGLE MODIFIER)

Σε γενικές γραμμές το είδος αυτό των απωλειών, σχετίζεται με τη μετάδοση και ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοβολταϊκό πάνελ, μέρος από αυτή ανακλάται και επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα, ενώ κάποιο άλλο μέρος διαθλάται και εισχωρεί στο φωτοβολταϊκό πάνελ. Η επίδραση λοιπόν του φαινομένου της ανάκλασης και διάθλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, σημαίνει πρόσθετες απώλειες για το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Αυτού του είδους οι απώλειες δίνονται από την παρακάτω σχέση

$$IAM_{losses} = 1 - bo(1 / \cos i - 1) \quad (3.6)$$

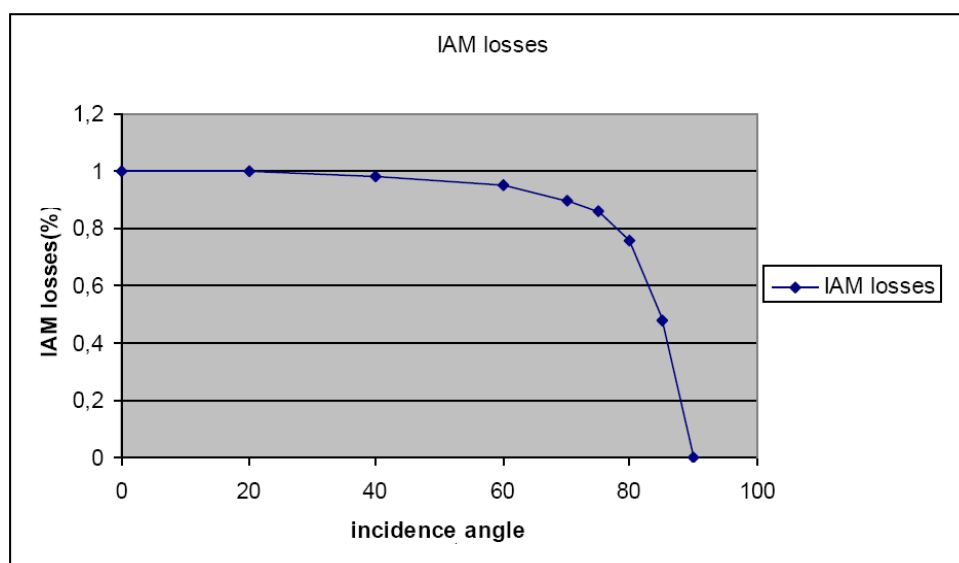
όπου

I : η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

bo : συντελεστής- τροποποιητής γωνίας πρόσπτωσης.

Η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας στην εξωτερική επιφάνεια με τα ηλιακά κύτταρα εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης. Αυτή ακριβώς την τροποποίηση της γωνίας της εξωτερικής ακτινοβολίας στα ηλιακά κύτταρα εκφράζει ο συντελεστής bo . Για θερμικούς ηλιακούς συσσωρευτές από επιφάνεια από γυαλί ο συντελεστής bo λαμβάνεται ίσος με 0.1, ενώ για φωτοβολταϊκό πλαίσια, ο συντελεστής bo λαμβάνεται ίσος με 0.05. Για γωνία πρόσπτωσης πάνω από 85° και για $bo = 0.01$ οι συγκεκριμένες απώλειες γίνονται αρνητικές κάτι το οποίο φυσικά είναι μη ρεαλιστικό. Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι 90° τότε οι απώλειες γίνονται μηδενικές. Στο παρακάτω διάγραμμα

φαίνονται οι απώλειες λόγω της γωνίας επίπτωσης λαμβάνοντας τον συντελεστή b_0 ίσο με 0.05, τιμή η οποία συνήθως λαμβάνεται και στα λογισμικά.



Διάγραμμα 3.4.1: Μεταβολή των απωλειών γωνίας πρόσπτωσης (IAM Losses) συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης, με $b_0=0.05$.

3.7 Εξεργειακή ανάλυση

Η μέθοδος εξεργειακής βελτιστοποίησης έχει αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό της βέλτιστης απόδοσης των ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) καθώς και για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σχεδιασμού των PV. Μια λεπτομερής ανάλυση της εξεργειας διεξάγεται για την αξιολόγηση της ηλεκτρικής απόδοσης και την αποτελεσματικότητα της εξεργειας από μια τυπική Φ/Β συστοιχία. Η αποτελεσματικότητα εξεργειας μιας Φ/Β συστοιχίας είναι συνάρτηση των κλιματολογικών μεταβολών, και των σχεδιαστικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία της Φ/Β συστοιχίας, ο συνολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας, η τάση ανοικτού κυκλώματος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, το σημείο μέγιστης τάσης και το σημείο μέγιστης ισχύος.[3]

Εξεργειακή ανάλυση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τη διατήρηση της μάζας και τη διατήρηση της αρχής ενέργειας μαζί με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής για την ανάλυση, το σχεδιασμό, και τη βελτίωση της ενέργειας. Εξεργεια ορίζεται ως η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από ένα σύστημα ή η ενέργεια από μια ροή μάζας, δεδομένου ότι

βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον. Η απόδοση της εξέργειας ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής εξέργειας εξόδου προς την συνολική εξέργεια εισόδου:

$$n_{ex} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}} = 1 - \frac{I_{c,v}}{Ex_{in}}$$

όπου: Ex_{in} είναι η εξέργεια στην είσοδο

Ex_{out} είναι η εξέργεια στην έξοδο

$I_{c,v}$ είναι η μη αντιστρεψιμότητα στον χώρο του όγκου ελέγχου

Η εξέργεια στην είσοδο περιλαμβάνει την ηλιακή ένταση της ακτινοβολίας. Σύμφωνα με το θεώρημα του Petela :

$$Ex_{in} = S \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_{amb}}{T_{sun}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4 \right)$$

όπου: T_{sun} είναι η θερμοκρασία του ήλιου σε Kelvin

T_{amb} είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος

T_{sun} είναι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ήλιου $\sim 6000^\circ \text{C}$

Η μη αντιστρεψιμότητα στον χώρο του όγκου ελέγχου περιλαμβάνει εξωτερικές απώλειες εξέργειας από τον όγκο ελέγχου και εσωτερικές απώλειες εξέργειας από τον όγκο ελέγχου (καταστροφές εξέργειας)

$$I_{c,v} = \sum (Ex_{los} + Ex_{des})$$

Οι εξωτερικές απώλειες εξέργειας που προκλήθηκαν από διαρροή θερμότητας δίνονται από τον τύπο :

$$Ex_{los} = U_L A_{arr} (T_{cell} - T_{amb}) \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}} \right)$$

όπου: T_{cell} είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Οι εσωτερικές απώλειες εξέργειας (καταστροφές εξέργειας) περιλαμβάνει 4 όρους. Ο πρώτος όρος προκαλείται από απώλειες στην επιφάνεια των Φ/Β συστοιχιών

$$Ex_{des,opt} = S \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right) (1 - (\tau\alpha))$$

Ο δεύτερος όρος προκαλείται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας της Φ/Β συστοιχίας και της θερμοκρασίας του ήλιου

$$Ex_{des,\Delta T_{SUN}} = (\tau\alpha)ST_{amb} \left(\frac{1}{T_{cell}} - \frac{1}{T_{sun}} \right)$$

όπου: $(\tau\alpha)$ είναι το προϊόν μετάδοσης και απορρόφησης

Ο τρίτος όρος προκαλείται από την διακύμανση της θερμοκρασίας των Φ/Β συστοιχιών σε σχέση με τις συνθήκες αναφοράς [3].

$$Ex_{des,\Delta T_{array}} = \frac{m_{cell} C_p T_{amb}}{\Delta t} \left(\ln \left(\frac{T_{cell}}{T_{amb}} \right) - \frac{(T_{cell} - T_{amb})}{T_{cell}} \right)$$

όπου: m_{cell} και Δt είναι η μάζα της Φ/Β συστοιχίας και το χρονικό διάστημα αντίστοιχα

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του πυριτίου των ηλιακών κύτταρων (C_p) υπολογίζεται από τον τύπο :

$$C_p = 0,844 + 1,18 \times 10^{-4} T_{cell} - 1,55 \times 10^{-4} T_{cell}^2$$

Ο τέταρτος όρος είναι η καταστροφή της ηλεκτρικής εξέργειας:

$$Ex_{des,el} = (I_{sc} V_{oc} - I_{mp} V_{mp})$$

Άρα το εξεργειακό αποτέλεσμα των Φ/ Β συστοιχιών δίνεται από τον τύπο:

$$n_{ex} = 1 - \left\{ (1 - (\tau\alpha)) + \frac{U_L A_{arr} (T_{cell} - T_{amb}) \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}} \right) + (\tau\alpha) S T_{amb} \left(\frac{1}{T_{cell}} - \frac{1}{T_{sun}} \right)}{S \left(1 - \frac{4 T_{amb}}{3 T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4} \right\} + \frac{\frac{m_{cell} C_p T_{amb}}{\Delta t} \left(\ln \left(\frac{T_{cell}}{T_{amb}} \right) - \frac{(T_{cell} - T_{amb})}{T_{cell}} \right) + (I_{sc} V_{oc} - I_{mp} V_{mp})}{S \left(1 - \frac{4 T_{amb}}{3 T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4}$$

όπου: I_{mp} είναι το ρεύμα που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος

V_{mp} είναι η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος



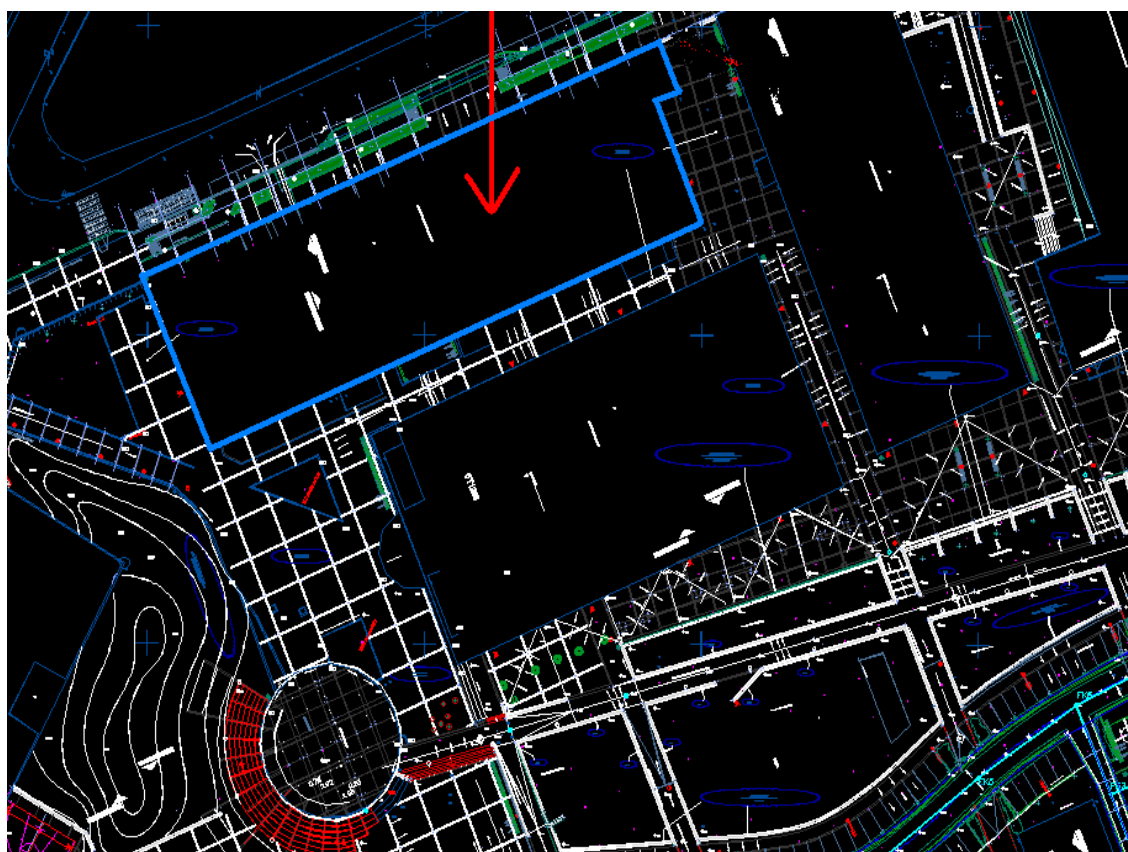
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

4.1 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Η σωστή σχεδίαση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και η άρτια τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων επιβάλλονται ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, τόσο από άποψη ασφάλειας όσο και από άποψη ενεργειακής αποδοτικότητας.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι ο σχεδιασμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Το υπό εξέταση έργο περιλαμβάνει την εγκατάσταση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού (Φ/Β) σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αποτελούμενο από φωτοβολταϊκές γεννήτριες, στη στέγη του Πανεπιστημίου του Βόλου. Η θέση της στέγης όπου θα γίνει η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών φαίνεται στο απόσπασμα Τοπογραφικού Χάρτη που ακολουθεί:



Εικόνα 4.1 : Τοπογραφικό σχέδιο του κτιρίου

Το εν λόγω κτίριο έχει προσανατολισμό νοτιοδυτικό με μια απόκλιση από τον νότο 60°.

4.2 Φ/ Β Συστοιχίες

4.2.1 Εκτίμηση του συνολικού αριθμού πλαισίων

Αρχικά θα προβούμε σε μια πρώτη εκτίμηση του συνολικού αριθμού των πλαισίων που απαιτούνται για την κάλυψη της στέγης του κτιρίου που μας ενδιαφέρει. Καθοριστικό ρόλο για αυτό το σκοπό έχει το μέγεθος της συνολικής επιφάνειας που έχει η στέγη και η ονομαστική ισχύς του κάθε πλαισίου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς προκύπτει από το γινόμενο των αριθμών πλαισίων που βρήκαμε επί την ονομαστική ισχύ του κάθε πλαισίου. Για την μελέτη χρησιμοποιήσαμε πλαίσια της εταιρίας Sharp ονομαστική ισχύς P=240W. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση ότι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι σύγχρονη, εγκεκριμένη με τα κατάλληλα και απαιτούμενα πιστοποιητικά λειτουργίας. Ακόμη τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια πυριτίου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού συστήματος, έχουν ένα μέτριο κόστος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες στις μέρες μας, και σίγουρα χαμηλότερο από τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά.

Η στέγη έχει συνολική επιφάνεια 2908,56m² και παρουσιάζει κάποιες πτυχές με 45 μοίρες κλίση ανά 8m². Δεν σκιάζεται από κάποιο γειτονικό κτίριο και δεν υπάρχει κλιμακοστάσιο. Μετά από σχεδιασμό της στέγης στο πρόγραμμα Autocad καταλήξαμε ότι χωράνε στην στέγη, αφήνοντας τις κατάλληλες αποστάσεις για να μην σκιάζονται μεταξύ τους και αφήνοντας μισό μέτρο περιμετρικά της στέγης για λόγους ασφαλείας, 800 φωτοβολταϊκά πλαίσια:

Πρόχειρος υπολογισμός τιμής εγκατεστημένης ισχύος:

τιμή εγκατεστημένης ισχύος = συνολικός αριθμός πλαισίων x ονομαστική τιμή ισχύος πλαισίου

$$\text{τιμή εγκατεστημένης ισχύος} = 800 \times 240 = 192000 \text{ W ή } 192,00\text{kW}$$



4.2.2 Συμβατότητα συστοιχίας - μετατροπέα

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του μετατροπέα που βρίσκεται συνδεδεμένος στην έξοδο της. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τάσης και ρεύματος εξόδου της γεννήτριας και τάσης και ρεύματος εισόδου του μετατροπέα. Αυτό είναι και ένα από τα βασικά κριτήρια που καθορίζουν τον αριθμό των πλαισίων που συνδέονται εν σειρά συγκροτώντας μια αλυσίδα αλλά και τον αριθμό των αλυσίδων που συνδέονται παράλληλα. Με βάση το πιο πάνω σκεπτικό προχωράμε στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Να σημειώσουμε ότι, για λόγους συμβατότητας της ορολογίας με το πρόγραμμα εξομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε, ο όρος συστοιχία (array) συμπίπτει με τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

4.3 Κλιματολογικά στοιχεία του Βόλου

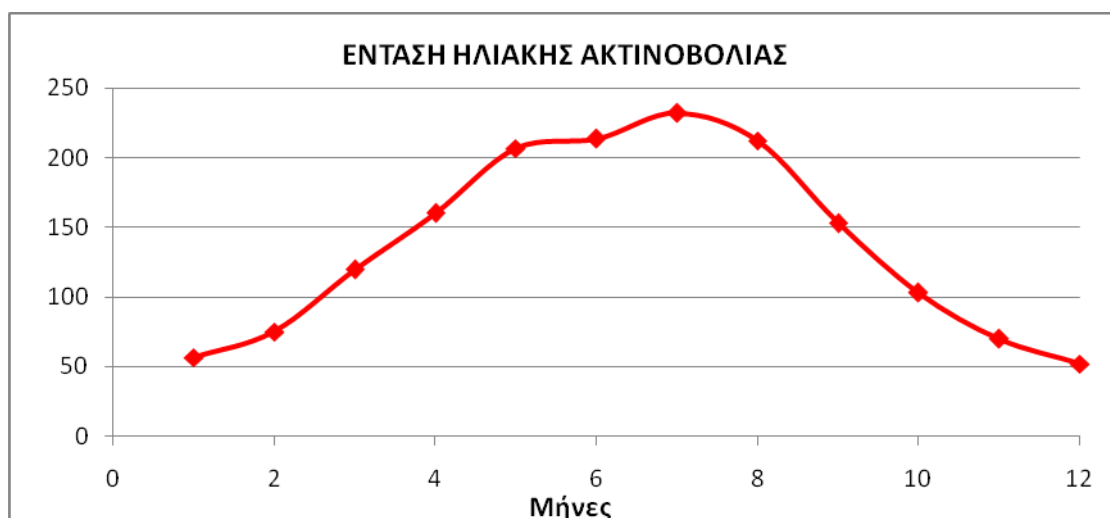
Σύμφωνα με τα στοιχεία που βρήκαμε από πίνακες του ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) γνωρίζοντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του Βόλου είναι 22,57 και 39,22 αντίστοιχα βρίσκουμε τον παρακάτω πίνακα:

ΜΗΝΑΣ	ΩΡΕΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ (h)	ΑΠΟΛΥΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΑΠΟΛΥΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	89,4	23	-8,2	56,7
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	109,7	24,7	-7,8	75
ΜΑΡΤΙΟΣ	159,1	26	-3,2	119,5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	213,1	34	1,8	160
ΜΑΙΟΣ	279,8	35,2	6,2	206,6

ΙΟΥΝΙΟΣ	300,2	37,8	11,6	213,8
ΙΟΥΛΙΟΣ	333,1	44,2	14	232,2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	322,5	39,6	14,8	212,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	243,6	36,8	9,2	153,1
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	176	30,4	1,4	103
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	140,6	27,2	0,6	70,1
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	95,9	24,4	-6	52,1

Πίνακας 4.1 : Κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή του Βόλου

Έτσι από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να έχουμε την μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για τον Βόλο.



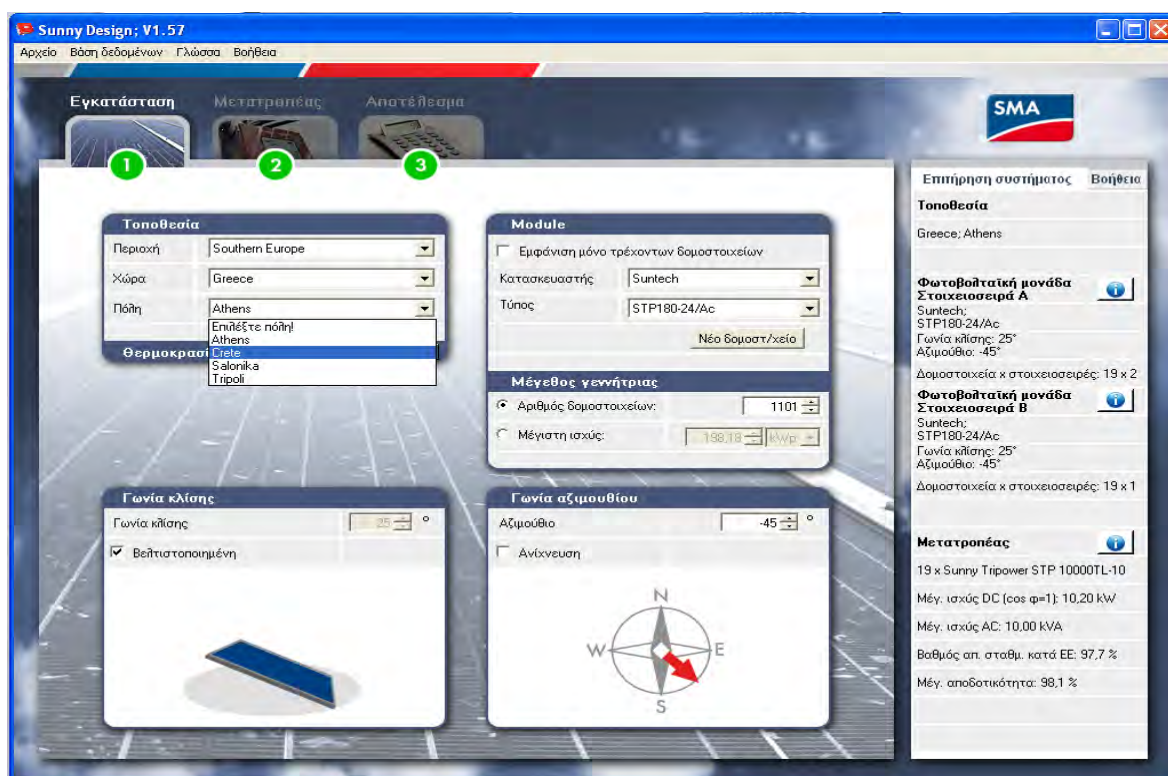
4.4 Περιγραφή του προγράμματος Sunny Design

Στο πρώτο φύλλο επεξεργασίας του προγράμματος αναφέρονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Το ίδιο το πρόγραμμα περιέχει μια βάση δεδομένων για αρκετές περιοχές του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Στην συνέχεια καθορίζονται οι κατασκευαστές και οι τύποι των μοντέλων που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, υπάρχει και εδώ μια βάση δεδομένων με όλες τις εταιρίες και Φ/Β στοιχεία που αυτές κατασκευάζουν. Στο επόμενο κελί εισαγωγής εισάγουμε την γωνία κλίσης που θα θέλουμε να έχουν τα φωτοβολταϊκά μας και ορίζουμε την γωνία αζιμουθίου, δηλαδή την γωνία απόκλισης από τον Νότο.

Το δεύτερο φύλλο επιλέγουμε τον μετατροπέα που θέλουμε να βάσουμε, ανάλογα με την ισχύ που παράγουμε. Η επιλογή του αντιστροφέα είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι ενός Φ/Β συστήματος. Η αρχική επιλογή έχει να κάνει με τη

επιλογή ενός αντιστροφέα κατάλληλης ισχύος για την εγκατάσταση που μελετάται και έπειτα διερεύνηση κατά πόσο αυτός μπορεί να συνδυαστεί με συγκεκριμένα Φ/Β πλαίσια που έχουν επιλεγεί. Αν έχουμε μια εγκατάσταση κάτω από 5KW ο μετατροπέας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι μονοφασικός, ενώ για μια εγκατάσταση πάνω των 5KW θα βάλουμε τριφασικούς μετατροπείς.

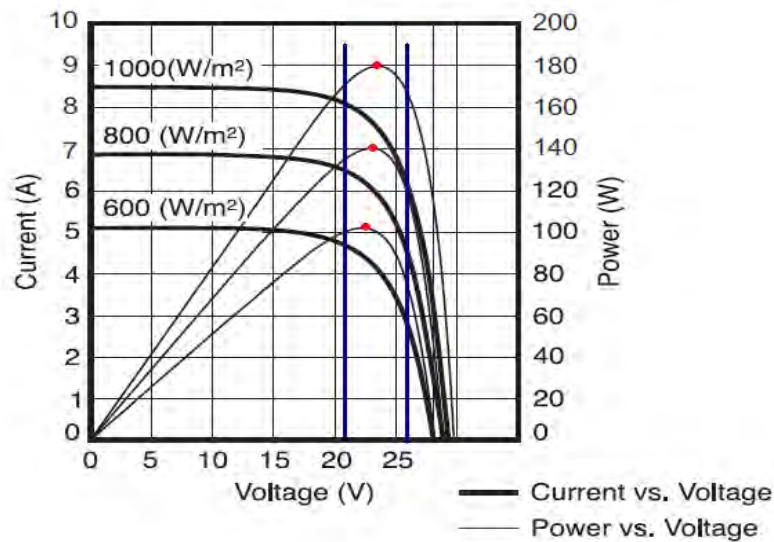
Τέλος το τρίτο φύλλο επεξεργάζεται τα παραπάνω δεδομένα που δώσαμε για τον υπολογισμό του ετησίου ενεργειακού ποσού σε kWh που παράγεται από το σύστημα.



Εικόνα 4.2: Διαστασιολογικό πρόγραμμα Sunny Design (<http://www.sma-hellas.com/>)

Στην υπό μελέτη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά πάνελ της εταιρίας Sharp με κωδικό NU-U240F1 με ονομαστική ισχύς 240W. Τα πάνελ αυτά συνδέονται με έναν τριφασικό αντιστροφέα Sunny Tripower της SMA 10000 TL-10. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες θα ακολουθούν την κλίση της στέγης δηλαδή θα έχουν γωνία κλίσης 45° και γωνία αζιμουθίου ορίσαμε τις 60° . Το πλαίσιο που θα τοποθετηθεί θα είναι πλάτους 0,994m και μήκους 1,640m.

Στο σχήμα 4.4.1 παρατίθενται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης (καμπύλη I-V) και ισχύος- τάσης (καμπύλη P-V), των πάνελ που χρησιμοποιούνται στην πιο πάνω εγκατάσταση.

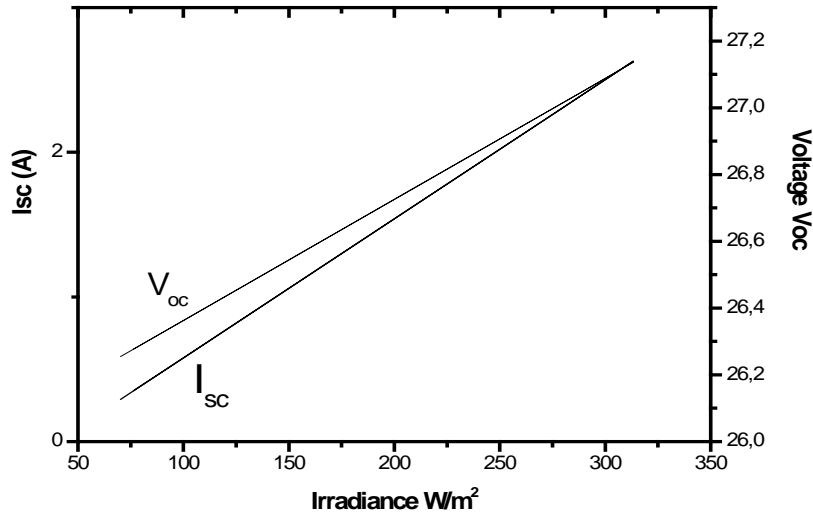


Σχήμα 4.4.1: Χαρακτηριστικές I-V, P-V, στο σχήμα επίσης φαίνεται η περιοχή όπου βρίσκονται τα σημεία μέγιστης ισχύος (MPP Region) .

Γίνεται φανερό από το σχήμα ότι τα σημεία μέγιστης ισχύος μπορούν να υπολογιστούν για διάφορες τιμές της ακτινοβολίας, προσεγγίζοντας γραφικά τις τιμές V_{mpp} και I_{mpp} .Εκτός όμως από τις τιμές αυτές χρειάζεται να γνωρίζουμε για τις διάφορες τιμές της ακτινοβολίας το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , που προκύπτει και την τάση ανοικτού κυκλώματος, V_{oc} . Από τα τεχνικά φυλλάδια των φωτοβολταϊκών πάνελ παίρνουμε τις χαρακτηριστικές ρεύματος βραχυκύκλωσης και τάσης ανοικτού κυκλώματος για διάφορες τιμές της ακτινοβολίας (σχήμα 4.4.2). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία και προφανώς η ευθεία του σχήματος περνά από το σημείο (0,0). Άρα με βάση τα ονομαστικά στοιχεία μπορούμε να βρούμε την εξίσωση αυτής της ευθείας, η οποία θα έχει την εξής μορφή:

$$I_{sc} = 0,00837 \cdot G \quad (4.1)$$

Όπου I_{sc} , το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε A και G η ακτινοβολία σε W/m^2 .



Σχήμα 4.4.2: Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης ανοικτού κυκλώματος και ρεύματος βραχυκύκλωσης συναρτήσει της ακτινοβολίας.

Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία ως $G=400 \text{ W/m}^2$. Για τιμές μικρότερες αυτής της ακτινοβολίας η τάση αυτή μειώνεται απότομα μέχρι που μηδενίζεται. Για τιμές της ακτινοβολίας μεγαλύτερες των 400 W/m^2 , η εξίσωση που συνδέει την τάση ανοικτού κυκλώματος με την ακτινοβολία, προκύπτει ως εξής:

$$V_{oc} = 0,004167 \cdot G + 25,834 \quad (4.2)$$

Γνωρίζοντας, λοιπόν τις τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοικτού κυκλώματος, αρκεί να υπολογιστούν οι τιμές του ρεύματος και της τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος, I_{mpp} και V_{mpp} ώστε να προσεγγιστεί η καμπύλη I-V. Την τιμή του ρεύματος I_{mpp} την υπολογίζουμε βάσει του ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , είναι κατά 5-15% μεγαλύτερο από το I_{mpp} . Άρα παίρνουμε την εξής εξίσωση:

$$I_{mpp} = 0,907 \cdot I_{sc} \quad (4.3)$$

Θεωρούμε ότι τα σημεία μέγιστης ισχύος των καμπυλών P-V, για τιμές ακτινοβολίας $G > 600 \text{ W/m}^2$, σχηματίζουν μια ευθεία –προσεγγιστικά - η οποία έχει την γενική μορφή της συνάρτησης, $y=ax+b$. Με βάση τα σημεία που παίρνουμε από αυτές τις καμπύλες, έχουμε:

$$P_{mpp} = a \cdot V_{mpp} + b$$

$$180 = \alpha \cdot 23,7 + b$$

$$140 = \alpha \cdot 22,7 + b$$

Άρα, $\alpha=40$ και $b= -770$

$$P_{mpp} = 40 \cdot V_{mpp} - 770 \Rightarrow I_{mpp} \cdot V_{mpp} = 40 \cdot V_{mpp} - 770$$

Άρα προκύπτει η σχέση (4.4):

$$V_{mpp} = \frac{770}{40 - I_{mpp}} = \frac{770}{40 - 0,907 \cdot I_{sc}} \quad (4.4)$$

Από τις τέσσερις πιο πάνω σχέσεις υπολογίζονται οι τιμές I_{sc} , V_{oc} , I_{mpp} , V_{mpp} για δεδομένη ακτινοβολία G . Η R_{pv} δεν πρόκειται για ωμική αντίσταση, αφού παίρνει τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές. Οι τέσσερις παράμετροι που πρέπει να υπολογίσουμε είναι η αντίσταση R_{pv} , η τάση που εξαρτάται από την θερμοκρασία V_t , το ανάστροφο ρεύμα κόρου I_0 και το φωτόρευμα I_{ph} . Αυτές υπολογίζονται μέσω της κλίσης M , της τάσης ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} , του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} , της τάσης και του ρεύματος στο σημείο MPP (V_{mpp} και I_{mpp}). Ο συντελεστής M υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση με ακρίβεια της τάξης του 1%

$$M = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \left(-5,411 \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} + 6,450 \frac{V_{mpp}}{V_{oc}} + 3,417 \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} - 4,422 \right)$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις τέσσερις βασικές παραμέτρους:

$$R_{pv} = -M \frac{I_{sc}}{I_{mpp}} + \frac{V_{mpp}}{I_{mpp}} \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{mpp}} \right)$$

$$V_t = -(M + R_{pv}) \cdot I_{sc}$$

$$I_0 = I_{sc} \cdot e^{-\frac{V_{oc}}{V_t}}$$

$$I_{ph} = I_{sc} \cdot$$

Οι τιμές από τις οποίες εξαρτάται η κλίση M , δηλαδή η τάση ανοιχτού κυκλώματος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, η τάση και το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) λαμβάνονται απευθείας από τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή των φωτοβολταϊκών πάνελ. Το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στην ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking, MPPT)

Τέλος μπορούμε να βρούμε και να σχεδιάσουμε την χαρακτηριστική καμπύλη I-V από την εξίσωση:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{(V+I \cdot R_{pv})/V_t} - 1 \right)$$

όπου: I : το ρεύμα στην έξοδο του πλαισίου [A]

V : η τάση στους ακροδέκτες εξόδου του πλαισίου [V]

I_0 : ανάστροφο ρεύμα κορεσμού της διόδου που εξαρτάται από την θερμοκρασία T_c

T_c : θερμοκρασία των κυττάρων [$^{\circ}\text{K}$].

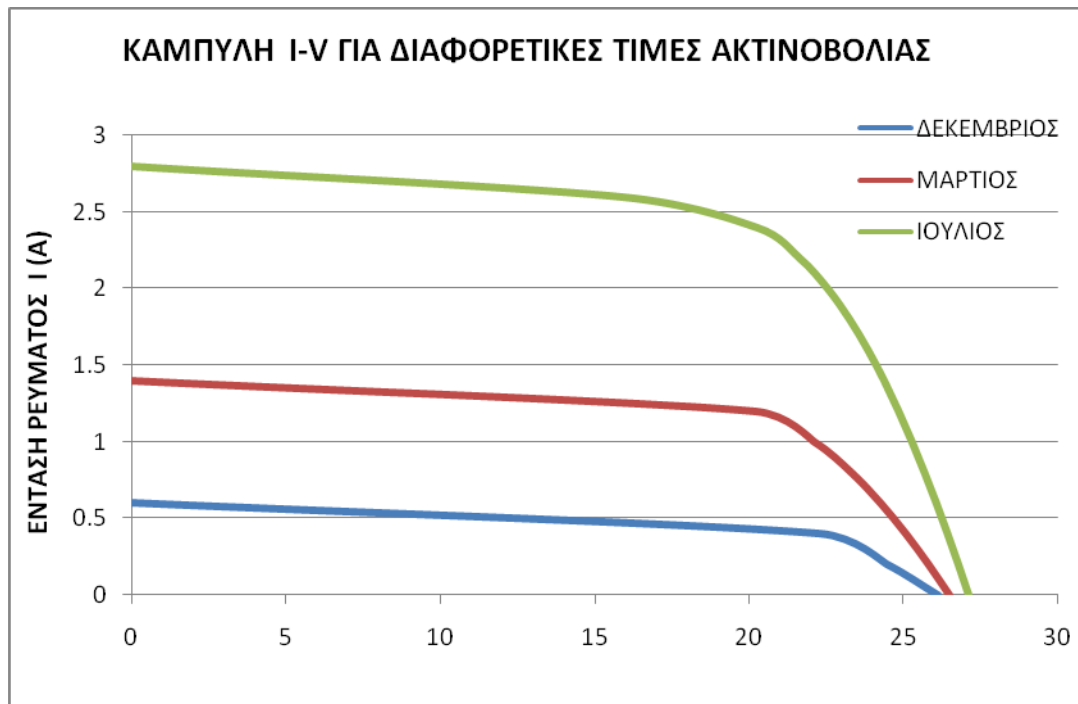
$$V = V_t \cdot \ln\left(\frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0}\right) - I \cdot R_{PV}$$

όπου: I_{ph} το φωτόρευμα, για το οποίο ισχύει ότι $I_{ph} = I_{sc}$.

ΜΗΝΑΣ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ W/m^2	I_{sc}	V_{oc}	I_{mpp}	V_{mpp}	M	R_{PV}	V_t	I_0
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	76,545	0,64068	26,153	0,5811	19,5338	-6,9757	4,24419	1,750029	2,072E-07
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	101,25	0,84746	26,256	0,76865	19,6272	5,26437	3,18595	1,76139	2,847E-07
ΜΑΡΤΙΟΣ	161,325	1,35029	26,506	1,22471	19,858	3,28557	1,9599	1,790039	5,007E-07
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	216	1,80792	26,734	1,63978	20,0729	2,43731	1,43207	1,817407	7,391E-07
ΜΑΙΟΣ	278,91	2,33448	26,996	2,11737	20,3259	1,86892	1,07625	1,850477	1,077E-06
ΙΟΥΝΙΟΣ	288,63	2,41583	27,037	2,19116	20,3656	1,80284	1,03468	1,855741	1,137E-06
ΙΟΥΛΙΟΣ	313,47	2,62374	27,14	2,37974	20,4677	1,65216	0,93967	1,869385	1,299E-06
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	286,74	2,40001	27,029	2,17681	20,3579	1,81534	1,04255	1,854714	1,125E-06
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	206,685	1,72995	26,695	1,56907	20,0359	2,55041	1,5026	1,812655	6,952E-07
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	139,05	1,16385	26,413	1,05561	19,7718	3,82066	2,2919	1,779245	4,156E-07
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	94,635	0,79209	26,228	0,71843	19,6021	5,63518	3,41534	1,758324	2,634E-07
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	70,335	0,5887	26,127	0,53395	19,5104	7,59458	4,62669	1,747211	1,886E-07

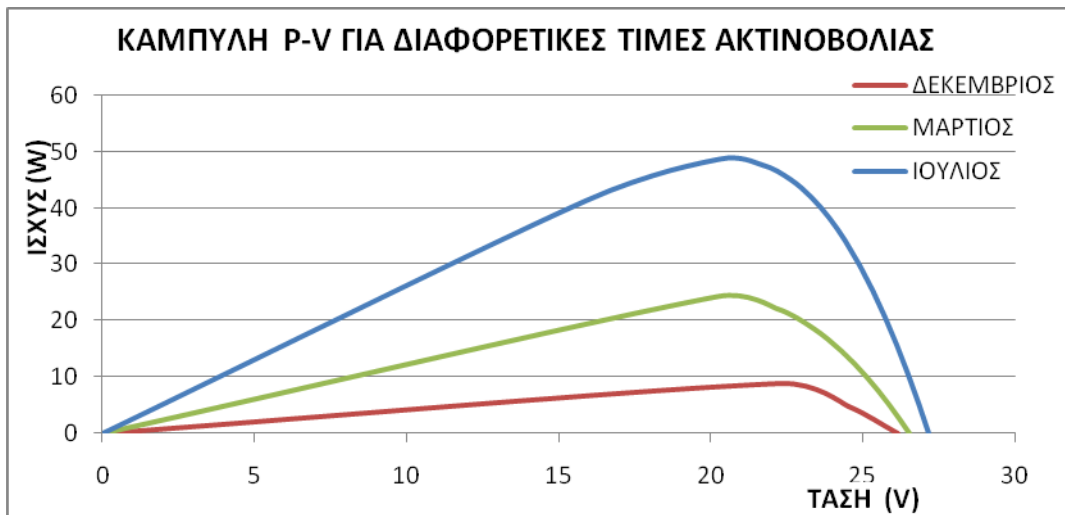
Πίνακας 4.2

Με βάση την πιο πάνω ανάλυση και με τη χρήση του λογισμικού Excel, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, παρατίθενται στα σχήματα 4.5 έως 4.6 οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V για τρεις διαφορετικές τιμές της ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.5: καμπύλη ρεύματος – τάσης

Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , καθώς και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Παρατηρούμε πώς στο μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης το ρεύμα παραμένει σταθερό και ίσο με το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Στην συνέχεια παρατηρούμε μια απότομη μεταβολή του ρεύματος ώστε τελικά να καταλήξει 0 όπου και έχουμε τελικά την τάση ανοικτού κυκλώματος. Η περιοχή γύρω από τη μέτρηση, που παρουσιάζεται το μέγιστο γινόμενο τάσης-ρεύματος, δηλαδή η μέγιστη ισχύς της γεννήτριας, ονομάζεται γόνατο της καμπύλης I-V. Αξίζει να παρατηρήσουμε πως στην περιοχή πριν το «γόνατο» που παρουσιάζει η καμπύλη, το ρεύμα είναι σταθερό και το φωτοβολταϊκό πλαίσιο λειτουργεί σαν σταθερή πηγή ρεύματος και παράγει τάση ώστε να εξισορροπήσει την αντίσταση του φορτίου. Επίσης, μετά το «γόνατο» της καμπύλης το ρεύμα μειώνεται γρήγορα με μια μικρή αύξηση της τάσης. Στην περιοχή αυτή το πλαίσιο λειτουργεί σαν σταθερή πηγή τάσης με εσωτερική αντίσταση. Κάπου ανάμεσα στις δύο περιοχές που αναφέρθηκαν υπάρχει ένα σημείο βέλτιστης λειτουργίας.



Σχήμα 4.6: καμπύλη ισχύος – τάσης

Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ. Επίσης είναι φανερό ότι με την αύξηση της ακτινοβολίας προκαλεί σημαντική μετατόπιση του MPP (σημείο μέγιστης ισχύος).

4.5 Προσανατολισμός

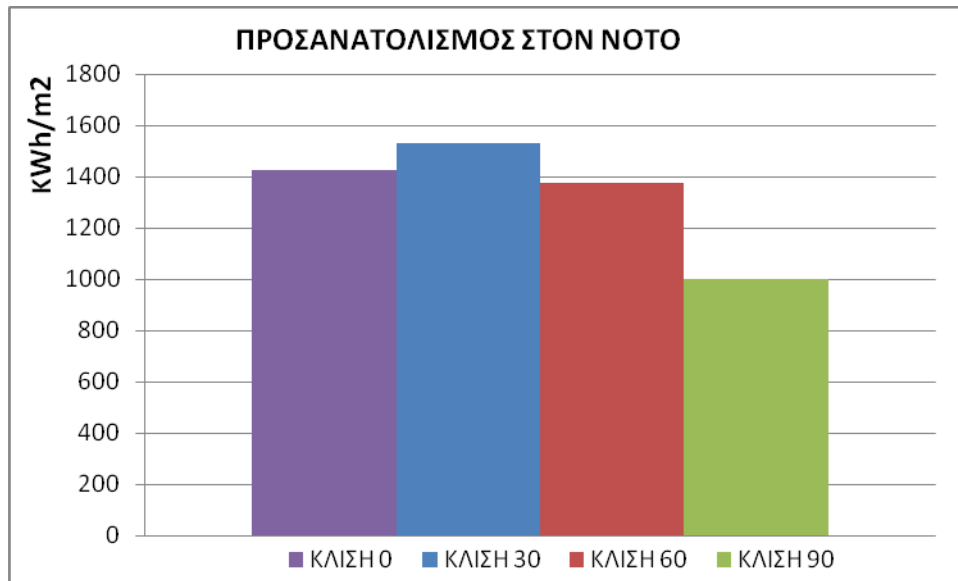
Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Έχει υπολογισθεί για την περιοχή του Βόλου τα ποσά ηλιακής ενέργειας που προσπίπτουν στις κτιριακές επιφάνειες όταν αυτά είναι οριζόντια, κάθετα και υπό ενδιάμεσες κλίσεις 30° και 60° (βλέπε πίνακα 4.3).

Κλίση	Προσανατολισμός	Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (ετησίως) [kWh/m ²]
		ΒΟΛΟΣ
0		1425
30	Βορράς	1030
	Ανατολή- Δύση	1310
	Νότος	1530
60	Βορράς	665
	Ανατολή- Δύση	1110
	Νότος	1375
90	Βορράς	475
	Ανατολή- Δύση	855
	Νότος	1000

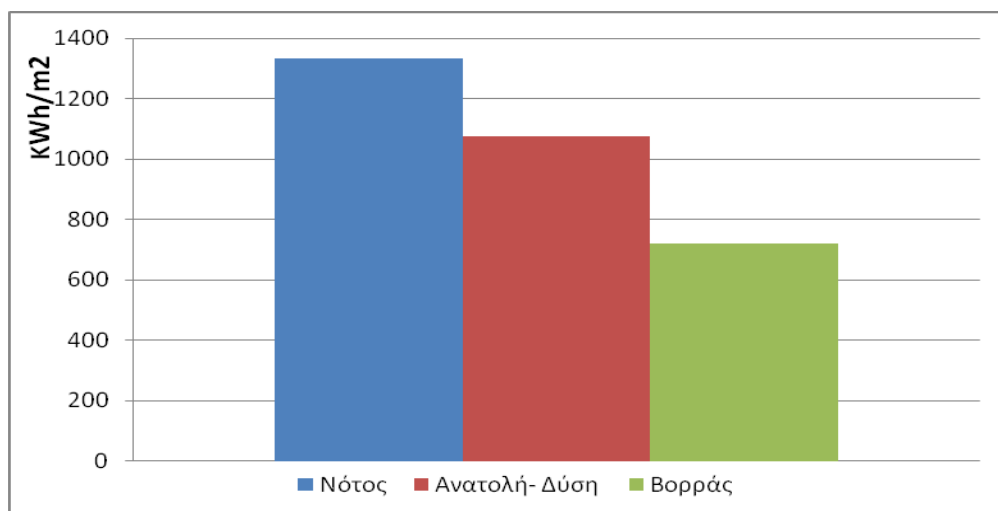
Πίνακας 4.3: Ποσά προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα την κλίση των πλαισίων στην περιοχή του Βόλου.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η μέγιστη ακτινοβολία προσλαμβάνεται με κλίση 30 ° και η ελάχιστη όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι με κλίση 90⁰.



Σχήμα 4.4: Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων σε κτίριο στον Βόλο

Όπως αναφέραμε παραπάνω, αν η θέση του κτιρίου δεν επιτρέπει τον προσανατολισμό των πλαισίων προς τον Νότο, όπως συμβαίνει και με το κτίριο του Πανεπιστημίου που μελετάμε, τότε αυτά τοποθετούνται είτε προς την Ανατολή, είτε προς την Δύση, όχι όμως προς τον Βορρά γιατί τότε έχουν πολύ χαμηλή απόδοση όπως διαπιστώνουμε από τα παρακάτω διαγράμματα. Στο κτίριο μάς ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα γίνει Νοτιοδυτικά με μια απόκλιση από τον Νότο 60⁰.



Σχήμα 4.5: Επίδραση του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων στο κτίριο μας

4.6 Αποτελέσματα ανάλυσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά που εισάγαμε στο πρόγραμμά Sunny Design είναι:

Location: 39°22'8" North, 22°57'40" East ,

Elevation: 14,62μ.

Nearest city: Volos, Greece

Nominal power of the PV system: 240 kW (crystalline silicon)

Inclination of modules: 45.0°

Orientation (azimuth) of modules: -60.0°

Estimated losses due to temperature: 7.9% (using local ambient temperature data)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

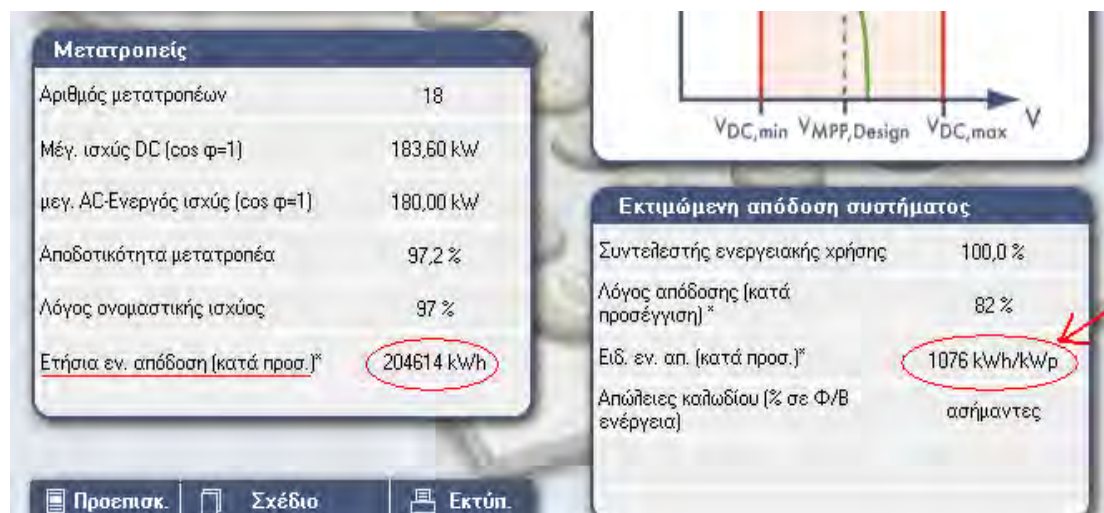
Combined PV system losses: 24.6%

Μέσω του Sunny Design η συνολική παραγωγή ενέργειας ανά έτος που υπολογίστηκε είναι: **204 MWh/έτος**

Συγκεκριμένα παράγονται **1076 kWh/kWp/έτος**

Μέσω του προγράμματος βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή ανά έτος

204.614 KWh/έτος



4.7 Μελέτη βιωσιμότητας της επένδυσης

Εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τεχνικής μελέτης στην οποία έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας, των κλιματολογικών συνθηκών, των απωλειών του συστήματος όπως και η μορφολογία του εδάφους για την

συγκεκριμένη περιοχή βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή κατά έτος θα είναι **204.614 KWh**. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι αυτή η παραγωγή έχει προκύψει με παραμέτρους απωλειών κατά 3% μεγαλύτερες για λόγους ασφαλείας.

Για να υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργίας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την φυσιολογική μείωση απόδοσης των πάνελ. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πάνελ και λαμβάνοντας υπόψη ότι εγγυούνται 80% τουλάχιστον απόδοση στην ονομαστική τιμή peak μετά από 20 χρόνια έχουμε 1% μείωση κατά έτος.

Έτσι η παραγωγή ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια θα είναι:

	Απόδοση πάνελ	Ισχύς KWh		Απόδοση πάνελ	Ισχύς KWh
1ο έτος	100%	204614	11ο έτος	90%	185049,234
2ο έτος	99%	202567,86	12ο έτος	89%	183198,742
3ο έτος	98%	200542,18	13ο έτος	88%	181366,754
4ο έτος	97%	198536,76	14ο έτος	87%	179553,087
5ο έτος	96%	196551,39	15ο έτος	86%	177757,556
6ο έτος	95%	194585,88	16ο έτος	85%	175979,98
7ο έτος	94%	192640,02	17ο έτος	84%	174220,18
8ο έτος	93%	190713,62	18ο έτος	83%	172477,979
9ο έτος	92%	188806,48	19ο έτος	82%	170753,199
10ο έτος	91%	186918,42	20ο έτος	81%	169045,667

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος



Διάγραμμα 4.7: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος σε διάστημα 20 ετών

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την μείωση της παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 20 ετών. Δηλαδή το σύστημα μας τον πρώτο χρόνο θα μας δίνει 204.614 KWh, ενώ σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πάνελ και λαμβάνοντας υπόψη ότι έχουμε 1% μείωση κατά έτος, το 20^ο έτος η παραγωγή θα είναι 169.046KWh.

4.8 Προϋπολογισμός επένδυσης

Ισχύς εγκατάστασης σε KW	200
792 Φωτοβολταϊκά πάνελ	410.100,00 €
19 inverters	30.900,00 €
Σύστημα στήριξης αλουμινίου	12.000,00 €
Καλωδιώσεις	45.000,00 €
Αντικεραυνική προστασία	5.000,00 €
Σύνδεση Δ.Ε.Η. – Ο.Τ.Ε.	3.000,00 €
Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	8.000,00 €
Δαπάνες εγκατάστασης	48.000,00 €
Σύνολο:	562.000,00 €

Πίνακας 4.5

Η επένδυση συνολικής ισχύος 190,08 KWp έχει συνολικό προϋπολογισμό 562.000,00 € που σημαίνει κόστος 2,96 € ανά watt.

4.9 Υπολογισμός εξόδων και κόστους παραγωγής

Ο επενδυτής υπογράφει 20ετή σύμβαση με τις Αρχές. Η πρώτη είναι η σύμβαση πώλησης με την ΔΕΣΜΗΕ και η δεύτερη είναι η σύμβαση σύνδεσης με την ΔΕΗ για την σύνδεση της εγκατάστασης με το δίκτυο της χώρας.

Η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια αφού καταμετρηθεί, διοχετεύεται στο δίκτυο έναντι τιμής που καθορίζεται από το Ν.3468/06. Σύμφωνα με το νέο νόμο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ο οποίος ψηφίστηκε στις 6-6-2006), η παρεχόμενη τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας ανέρχεται σε **0,40-0,50 €/kWh με εγγύηση μιας εικοσαετίας**. Η τιμή αυτή αναπροσαρμόζεται με βάση το μέσο ποσοστό αναπροσαρμογής των τιμολογίων της ΔΕΗ Α.Ε. που εγκρίνεται κάθε φορά από τον Υπουργό Ανάπτυξης. Αν δεν υπάρξει μεταβολή των τιμολογίων της ΔΕΗ, οι ανωτέρω τιμές αναπροσαρμόζονται ετησίως κατά ποσοστό ίσο προς το 80% του δείκτη τιμών καταναλωτή, όπως ανακοινώνεται από την Τράπεζα της Ελλάδος.

Πιο συγκεκριμένα, η Τιμή Πώλησης της Παραγόμενης Ηλιακής Ενέργειας έχει αναπροσαρμοστεί ως εξής :

Ισχύς Φωτοβολταϊκού Συστήματος	Ηπειρωτικό Δίκτυο	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
≤ 100kW	0,45282 €/kWh	0,50282 €/kWh
> 100kW	0,40282 €/kWh	0,45282 €/kWh

Πίνακας 4.6: Τιμή πώλησης ενέργειας από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή η τιμή θα αναπροσαρμόζεται ετησίως (σύμφωνα πάντοτε με το νόμο) κατά 80% ως προς τον δείκτη των τιμών καταναλωτή που ανακοινώνεται από την τράπεζα της Ελλάδος ή σύμφωνα με την μεσοσταθμική μεταβολή των εγκεκριμένων τιμολογίων της Δ.Ε.Η. και σύμφωνα με τα στοιχεία των τελευταίων πέντε ετών μπορούμε να πούμε κατά προσέγγιση ότι η ετήσια μεταβολή της αποζημίωσης ανά KWh θα είναι τουλάχιστον 1,5%. Έτσι η τιμή πώλησης μονάδας προϊόντος για τα επόμενα 20 έτη θα είναι κατά προσέγγιση:

Έτος	Τιμή πώλησης ανά KWh
1ο έτος	0,40282 €
2ο έτος	0,40886 €
3ο έτος	0,41500 €
4ο έτος	0,42122 €
5ο έτος	0,42754 €
6ο έτος	0,43395 €
7ο έτος	0,44046 €
8ο έτος	0,44707 €
9ο έτος	0,45377 €
10ο έτος	0,46058 €
11ο έτος	0,46749 €
12ο έτος	0,47450 €
13ο έτος	0,48162 €
14ο έτος	0,48884 €
15ο έτος	0,49618 €
16ο έτος	0,50362 €
17ο έτος	0,51117 €
18ο έτος	0,51884 €
19ο έτος	0,52662 €
20ο έτος	0,53452 €

Πίνακας 4.6 Τιμές πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος κατά προσέγγιση με μέση ετήσια αύξηση 1,5% για τα επόμενα 20 χρόνια.

4.9.1 Επισκευές – συντήρηση εξοπλισμού

Το κόστος επισκευών και συντήρησης του εξοπλισμού της εγκατάστασης υπολογίζεται να είναι ετησίως **2% επί των εσόδων** που προκύπτουν από την ετήσια παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει την συντήρηση και την άμεση αποκατάσταση των μετατροπέων όπως και των φωτοβολταϊκών πάνελ της εγκατάστασης. Διευκρινίζεται ότι οι μετατροπείς συνοδεύονται από εγγύηση καλής λειτουργίας 5 ετών και τα πάνελ 20 ετών. Με την υπογραφή του ανάλογου συμβολαίου συντήρησης ίσου με το 2% της παραγόμενης και πωλούμενης ενέργειας εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας για όλο το διάστημα των 20 ετών.

4.9.2 Αποσβέσεις

Στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι αποσβέσεις που πρέπει να γίνουν στην αξία του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων ώστε να ακολουθήσει η σύνταξη των λογαριασμών εκμετάλλευσης της μονάδας και των αποτελεσμάτων χρήσης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάρκεια ζωής της μονάδας θα είναι το ελάχιστο 20 έτη επιλέγουμε ως συντελεστή απόσβεσης το 5%.

Λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος της επένδυσης το οποίο υπολογίστηκε σε **562.000,00 €** βρίσκουμε ότι η ετήσια απόσβεση θα είναι

Κέρδη: $204.614 \text{ KWh/έτος} \times 0,40282 \text{ €} = 82.422,6 \text{ € ανά έτος.}$

Άρα η απόσβεση των χρημάτων μας θα γίνει γύρω στα **7 χρόνια**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

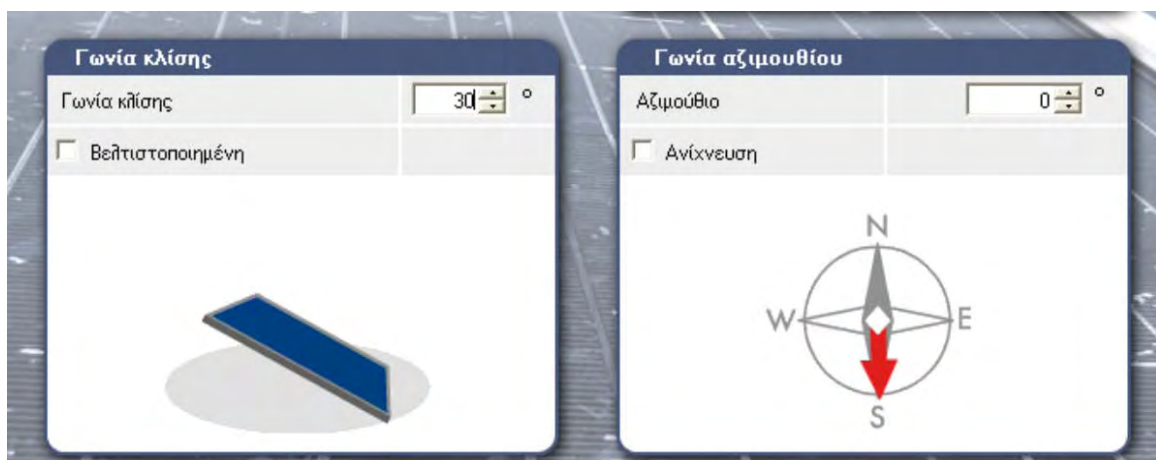
5.1 Προσανατολισμός των πλαισίων στον Νότο

Στην παρούσα περίπτωση για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τοποθετούμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ προσανατολισμένα στον Νότο. Αυτό θα γίνει φτιάχνοντας μια ειδική σιδηροκατασκευή πάνω στην ήδη υπάρχον στέγη μας και προσανατολιζουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στον νότο. Επιπλέον αλλάζουμε την κλίση μας και αντί για 45° που είχαμε στην ήδη υπάρχον την κάνουμε 30° .



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης πάνω σε σιδηροκατασκευή

Για τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά που εισάγαμε και πριν στο πρόγραμμά Sunny Design και αλλάζοντας την γωνία αζιμουθίου από 60° \rightarrow στις 0° και η γωνία κλίσης ορίστηκε από 45° στις 30° καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα.



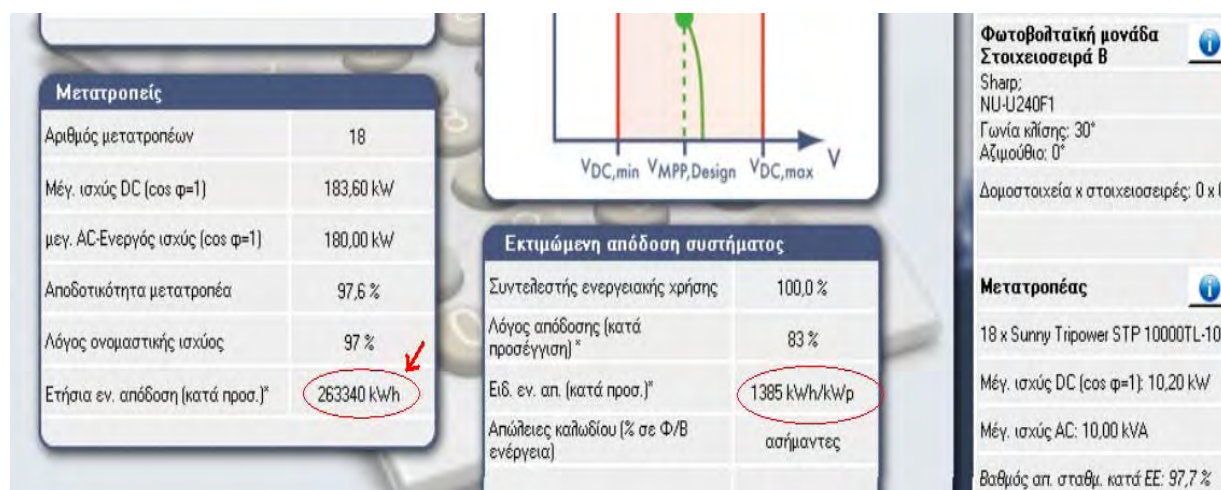
Εικόνα 5.2: Βασικά χαρακτηριστικά που αλλάξαμε στο πρόγραμμα Sunny Design

Αποτελέσματα ανάλυσης

Μέσω του Sunny Design η συνολική παραγωγή ενέργειας ανά έτος που υπολογίστηκε είναι: **263,340 MWh/έτος**

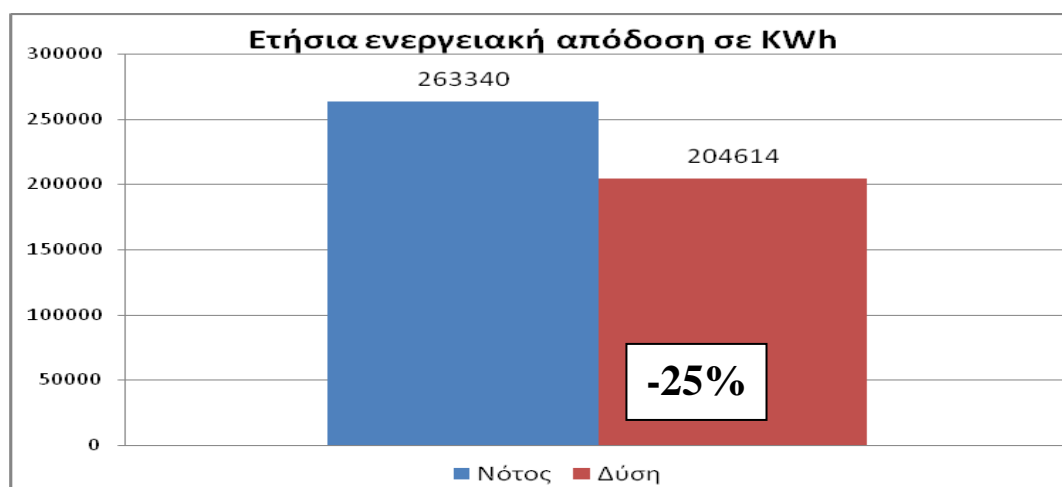
Συγκεκριμένα παράγονται **1385 kWh/kWp/έτος**

Μέσω του προγράμματος βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή ανά έτος **263.340 KWh/έτος**



Εικόνα 5.3: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την ετήσια ενεργειακή απόδοση και για τις δυο περιπτώσεις που αναφέραμε πιο πάνω. Η πρώτη περίπτωση είναι με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προσανατολισμένα στην δύση με την στέγη μας όπως έχει και στην δεύτερη περίπτωση με την σιδηροκατασκευή και προσανατολισμένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στον Νότο. Η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας όταν τα Φ/Β πλαίσια δεν είναι προσανατολισμένα στον Νότο είναι 25%.



Διάγραμμα 5.1: Ετήσια ενεργειακή απόδοση του συστήματος για τις δυο περιπτώσεις

Άρα η απόσβεση των χρημάτων βάση της Τιμής Πώλησης της Παραγόμενης Ηλιακής Ενέργειας στα **0,40282€ KWh** είναι:

Ετήσια απόδοση : 263340 KWh x 0,40282€ KWh = 106.078.62 €έτος

Δηλαδή η απόσβεση των χρημάτων μας θα γίνει γύρω στα **5 χρόνια**.

5.2 Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στην στέγη της αρχιτεκτονικής σχολής

Σε αυτήν την περίπτωση θα μελετήσουμε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αν καλύψουμε με φωτοβολταϊκά πάνελ τις νότιες προσανατολισμένες στέγες της αρχιτεκτονικής σχολής. Το πλεονέκτημα που έχουμε εδώ είναι ότι δεν χρειάζεται καμία επιπλέον κατασκευή για την στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων στον Νότο, όπως έγινε στο κτίριο των Μηχανολόγων Μηχανικών, γιατί ήδη ο προσανατολισμός της δόρυχτης στέγης είναι στον Νότο. Μια ενδεικτική απεικόνιση για το πως θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πάνω στην στέγη φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.4: Απεικόνιση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Πρόχειρος υπολογισμός τιμής εγκατεστημένης ισχύος:

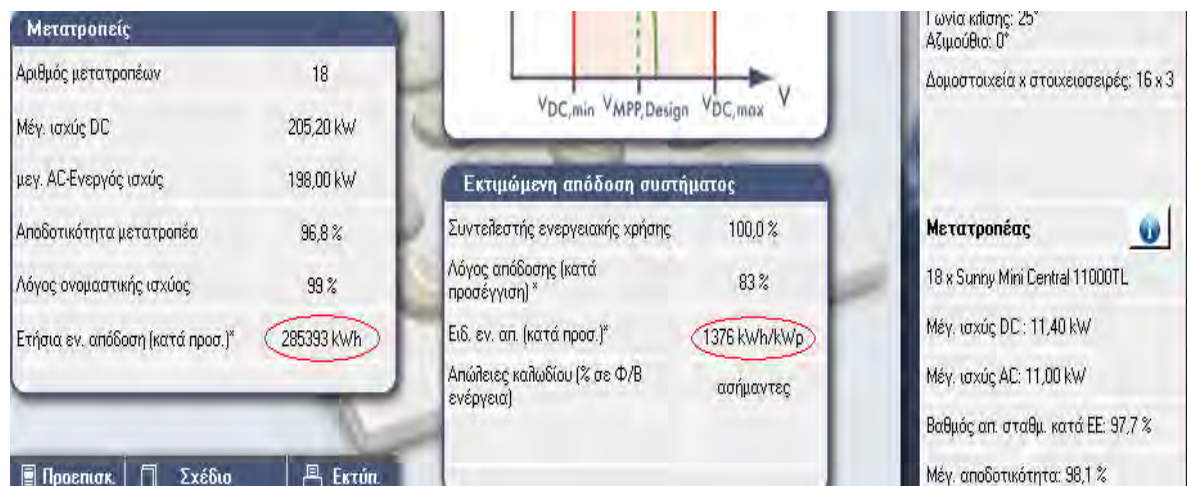
τιμή εγκατεστημένης ισχύος = συνολικός αριθμός πλαισίων x ονομαστική τιμή ισχύος πλαισίου

τιμή εγκατεστημένης ισχύος = 864 x 240 = 207360 W ή 207,36kW

Εισάγοντας τα χαρακτηριστικά στο προσομοιωτικό πρόγραμμα Sunny Design

Γωνία αζιμουθίου: 0°

Γωνία κλίσης: 20°



Εικόνα 5.5: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος

Αποτελέσματα ανάλυσης

Μέσω του Sunny Design η συνολική παραγωγή ενέργειας ανά έτος που υπολογίστηκε

είναι: **285,393 MWh/έτος**

Συγκεκριμένα παράγονται **1376 kWh/kWp/έτος**

Μέσω του προγράμματος βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή ανά έτος

285.393 KWh/έτος

Άρα η απόσβεση των χρημάτων βάση της Τιμής Πώλησης της Παραγόμενης Ηλιακής Ενέργειας στα **0,40282€ KWh** είναι:

Ετήσια απόδοση : 285.393 KWh x 0,40282€ KWh = 114.962,01 €έτος

Προϋπολογισμός επένδυσης

Ισχύς εγκατάστασης σε KW	207,36
864 Φωτοβολταϊκά πάνελ	447.381,00 €
18 inverters	32.900,00 €
Σύστημα στήριξης αλουμινίου	13.000,00 €
Καλωδιώσεις	45.800,00 €
Αντικεραυνική προστασία	5.000,00 €
Σύνδεση Δ.Ε.Η. – Ο.Τ.Ε.	3.000,00 €
Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	8.000,00 €
Δαπάνες εγκατάστασης	48.000,00 €
Σύνολο:	603.081,00 €

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης του συστήματος

Δηλαδή η απόσβεση των χρημάτων μας θα γίνει γύρω στα **στα 5 χρόνια**.

5.3 Συνολική εικόνα των καταναλώσεων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση ισχύος για το έτος 2009 για το κτίριο των Μηχανολόγων Μηχανικών και το κτίριο Αρχιτεκτονικής στο Συγκρότημα Πεδίου Άρεως. Τα δεδομένα πάρθηκαν από την μεταπτυχιακή εργασία της Τριανταφύλλου Γλυκερίας Διπλωματούχο Μηχανικό Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.

Έτος	Κτίριο Μηχανολόγων Μηχανικών	Κτίριο Αρχιτεκτονικής
2009	$90 \text{ kWh/m}^2 \times 2900\text{m}^2=261000 \text{ kWh}$	$89 \text{ kWh/m}^2 \times 2400\text{m}^2=214000 \text{ kWh}$

Πίνακας 5.2: Ετήσιες καταναλώσεις σε kWh για το έτος 2009

Η συνολική παραγωγή ανά έτος που βρέθηκε, αν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση γίνει στο κτίριο των Μηχανολόγων Μηχανικών, με τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στον Νότιο προσανατολισμό είναι **263.340 KWh/έτος**. Αυτό σημαίνει ότι, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η εγκατάσταση των 192 kW καλύπτει τις ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας του κτιρίου που είναι του ύψους των **261.000 KWh/έτος**.

Για το κτίριο της Αρχιτεκτονικής σχολής σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη και σύμφωνα με το προσομοιωτικό πρόγραμμα Sunny Design, η συνολική παραγωγή ενέργειας ανά έτος υπολογίστηκε: **285.393 KWh/έτος**. Στην περίπτωση αυτή η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση των 207 kW στην στέγη του κτιρίου, όχι μόνο καλύπτει τις ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας του κτιρίου, αλλά έχει και κάποιο κέρδος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται.

Βασική παράμετρος για όλα τα τεχνικά έργα υποδομής, είναι ο υπολογισμός τους σε βάθος χρόνου, για όποιο χαρακτήρα και αν έχει αυτό. Ειδικότερα για ένα έργο παραγωγής ενέργειας, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογούνται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός που μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή υλικών και μεγεθών. Τέτοιας αξιολόγησης χρήζουν π.χ. σε μια επένδυση Α.Π.Ε., η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία – ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας και κατά συνέπεια η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά στα Φ/Β συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς, γιατί αποτελεί την περίοδο(T) της σχετικής κίνησης ηλίου-γης.

Η παρούσα μελέτη αφορά την εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 190kWp, το οποίο κατατάσσει το έργο στα μεσαίας κλίμακας. Στο κεφάλαιο 1 μελετήθηκαν οι βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων, τα οποία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα έχουν το καθένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα αυτόνομα αποτελούν την ιδανική λύση για απομακρυσμένες από το κεντρικό δίκτυο περιοχές, όπου η διασύνδεσή τους θα σήμαινε τεράστιες οικονομικές επιβαρύνσεις. Από την άλλη τα διασυνδεδεμένα μπορούν να διοχετεύουν την όποια περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο και να λαμβάνουν από αυτό όταν η παραγωγή δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα μελετήθηκαν εκτενέστατα οι βασικές τεχνολογίες παραγωγής Φ/Β

στοιχείων και εστιάστηκε η μελέτη στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας.

Στο κεφάλαιο 2 προσδιορίστηκε η σημαντικότερη παράμετρος του έργου και δεν είναι άλλη από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ζητούμενο στην παρούσα μελέτη ήταν να βρεθεί καταρχήν εκείνη η γωνία που θα μεγιστοποιούσε την προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία σε ετήσια βάση. Όπως προέκυψε από την ανάλυση και επαληθεύεται και από πραγματικά δεδομένα, η γωνία αυτή διαφέρει σημαντικά από το γεωγραφικό πλάτος και η διαφορά μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και το γεωγραφικό πλάτος. Χωρίζοντας τον ελλαδικό χώρο σε 7 περιοχές σύμφωνα με τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται και έπειτα από υπολογισμούς που αφορούσαν 7 πόλεις του ελλαδικού χώρου, μια από κάθε περιοχή, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αυτή η διαφορά κυμαίνεται μεταξύ 7° και 11°. Επομένως θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι η βέλτιστη γωνία για τον ελλαδικό χώρο είναι περίπου στις 30°.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζεται ο παράγοντας θερμοκρασίας των Φ/Β πλαισίων, η ηλιακή ακτινοβολία, αλλά η ρύπανση και το πως επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης ενός Φ/Β συστήματος. Βλέπουμε πως συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα είναι κατά 30° C περίπου υψηλότερος από αυτή. Ακόμα εξετάστηκαν οι βασικές απώλειες που επηρεάζουν την απόδοση ενός Φ/Β συστήματος.

Στο κεφάλαιο 4 έγινε η μελέτη της εγκατάστασης. Έγινε προσομοίωση του συστήματος στο πρόγραμμα Sunny Design και παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα. Στην παρούσα μελέτη επιλέχτηκαν Φ/Β πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθώς ήταν πιο φθηνά και η διαφορά στην απόδοση σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου ήταν πολύ μικρή. Οι εξωτερικές παράμετροι, ήταν κυρίως η θερμοκρασία και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, οι μετρήσεις έγιναν σε δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να δούμε την αποδιδόμενη ισχύ του πλαισίου διότι, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται πολλές φορές σε κτίρια που ο χώρος δεν επιτρέπει την τοποθέτησή τους στη κλίση βέλτιστης απόδοσης.

Το κυρίαρχο συμπέρασμα που προκύπτει από την μελέτη που προηγήθηκε αφορά την μέγιστη διαφορά στην ενεργειακή απόδοση του συστήματος όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι προσανατολισμένα στον Νότο και όταν έχουν μια απόκλιση από αυτόν της τάξης των 60°. Η ετήσια ενεργειακή διαφορά υπολογίζεται

περίπου στο 25%. Το ποσοστό αυτό αντικατοπτρίζει μεγάλο ποσό ενέργειας της τάξης των 59.000 KWh/ έτος. Αυτό με την σειρά του ισοδυναμεί με 23.656 € κέρδη ετησίως.

Επιπλέον στο κεφάλαιο 5 έγινε μελέτη για φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στο κτίριο της Αρχιτεκτονικής σχολής στο Συγκρότημα Πεδίου Άρεως. Το κτίριο αποτελείται από δυο δίριχτες στέγες και έχει προσανατολισμό στον Νότο. Ύστερα από σχεδιασμό της κάτοψης της στέγης στο Autocad βρέθηκε ότι στο κτίριο χωρούν να εγκατασταθούν συνολικά 864 σταθερά φωτοβολταϊκά πλαίσια, με συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου και σύμφωνα με το προσομοιωτικό πρόγραμμα, θα αποδίδουν ετήσια παραγωγή τον χρόνο 285.393 KWh. Αυτό σημαίνει 114.962,01€ ετήσια κέρδη.

Σύμφωνα με τις τιμές κατανάλωσης ενέργειας που βρέθηκαν και που προκύπτουν από λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος για τα κτίρια που μελετήσαμε, διαπιστώσαμε αν η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις επαρκούν για να καλύψουν τις καταναλώσεις σε ενέργεια. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι για το κτίριο των Μηχανολόγων Μηχανικών η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά καλύπτει τις ανάγκες ενέργειας για όλο το κτίριο, άρα η επένδυσή μας είναι συμφέρουσα. Για το κτίριο της Αρχιτεκτονικής σχολής, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος όχι μόνο καλύπτει τις ετήσιες καταναλώσεις, αλλά προσφέρει και ένα αξιοσέβαστο οικονομικό όφελος.

Τέλος να υπενθυμίσουμε ότι κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,12 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου) [2]. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Όπως έχουμε προαναφέρει οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. K. Benlarbi, L. Mokrani, M.S. Nait-Said A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system
2. Γκαγτζή Χ., Κατριάδακη Κ. (2008) *Μέτρηση βαθμού απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και μελέτη της εξάρτησής του από τη θερμοκρασία*, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Α.Π.Θ.
3. Faramarz Sarhaddi, Said Farahat, Hossein Ajam, and Amin Behzadmehr, (2009) *Exergetic Optimization of a Solar Photovoltaic Array* Department of Mechanical Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, University of Sistan & Baluchestan, Iran
4. G.Friesen, W. Zaaiman, J. Bishop “Temperature behaviour of photovoltaic parameters”, 2nd World Conference and Exhibition of photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998
5. Kumar, L., Skidmore, A.K. and Knowles, E., 1997. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *International Journal for Geographical Information Science*.
6. Mardaljevic and Rylatt, 2003 J. Mardaljevic and M. Rylatt, Irradiation mapping of complex urban environments: an image-based approach, *Energy and Buildings* 35 (2003).
7. Siret and Houpert, 2004 D. Siret and S. Houpert, A geometrical framework for solving sunlighting problems within CAD systems, *Energy and Buildings* 36 (2004), pp. 343–351.
8. Siret and Houpert, 2004 D. Siret and S. Houpert, A geometrical framework for solving sunlighting problems within CAD systems, *Energy and Buildings* 36 (2004), pp. 343–351.
9. Haas, R. (1994), The value of photovoltaic electricity for utilities, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, τόμος 35, σελ. 421-427.
10. Proceedings of Solar Forum 2001: Solar Energy: The power to choose, April 21-25, 2001 Washington DC. ‘Effects of tilt and azimuth on annual incident solar radiation for United States Locations’, Craig B. Christensen and Greg M. Barker

11. Καγκαράκης Κ. “Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
12. Βασιλική Περράκη, “Νέες Τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2007
13. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης ‘Φωτοβολταϊκά Συστήματα’ Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη
14. Balaras, A. C., Drousa, K., Dascalaki, E., Kontoyiannidis, S. (2005), Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings, *Energy and Buildings*, τόμος 37, σελ. 429–442.
15. Kalogirou, S.A., Tripanagnostopoulos, Y. (2006), Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, *Energy Conversion and Management*, τόμος 47, σελ. 3368–3382.
16. Saitoh, H., Hamada, Y., Kubota, H. Nakamura, M., Ochifuji, K., Yokoyama, S. et al. (2003), Field experiments and analyses on a hybrid solar collector, *Applied Thermal Engineering*, τόμος 23, σελ. 2089–2105.
17. Sarmah, R., Bora, M.C. και Bhattacharjee, D.J. (2002), Energy profiles of rural domestic sector in six un-electrified villages of Jorhat district of Assam, *Energy*, τόμος 27, σελ. 17 -24.
18. Rehman, S. και Al-Abbadi, M. N. (Article in press), Wind shear coefficients and energy yield for Dhahran, Saudi Arabia, *Renewable Energy*.
19. Wright, R. (2005), *Environmental science, Toward a sustainable future*, Ένατη έκδοση, New Jersey: Pearson Education, Inc.
20. Ramachandra, T.V., Subramanian, D.K., Joshi, N.V., Gunaga, S.V., Harikantra, R.B.(2000), End use efficiencies in the domestic sector of Uttara Kannada District, *Energy Conversion & Management* , τόμος 41, σελ. 833-845.

Ιστοσελίδες

1. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) - <http://www.cres.gr/>
2. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) - <http://www.helapco.gr/>
3. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme –
<http://www.iea-pvps.org>
4. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας www.rae.gr
5. Sharp-solar <http://sharp-solar.com/>
6. <http://www.sma-hellas.com/>
7. <http://www.ypeka.gr/>
8. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), <http://www.deh.gr>.
9. <http://www.solar-tracking.com>

SHARP.

solar electricity

240 WATT

MULTI-PURPOSE MODULE
NEC 2008 Compliant



NU-U340F2

**MULTI-PURPOSE 240 WATT
MODULE FROM THE WORLD'S
TRUSTED SOURCE FOR SOLAR.**

Using breakthrough technology, made possible by nearly 60 years of proprietary research and development, Sharp's NU-U340F2 solar module incorporates an advanced cell surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency. Common applications include commercial and residential grid-tied roof systems as well as ground mounted arrays. Designed to withstand many harsh operating conditions, this module offers high power output per square foot of solar array.

Business leaders install this module in large commercial applications, demonstrating financial astuteness and environmental stewardship.

ENGINEERING EXCELLENCE

High module efficiency for an outstanding balance of size and weight to power and performance.

DURABLE

Tempered glass, EVA lamination and weatherproof backskin provide long-life and enhanced cell performance.

RELIABLE

25-year limited warranty on power output.

HIGH PERFORMANCE

This module uses an advanced solar cell surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency.

INNOVATIVE

156 mm pseudo-square monocrystalline solar cells provide high power output. Ideal for large commercial rooftops where space is a premium.



The NU-U340F2 offers industry-leading performance for a variety of applications.

Innovative frame technology.

SHARP: THE NAME TO TRUST

When you choose Sharp, you get more than well-engineered products. You also get Sharp's proven reliability, outstanding customer service and the assurance of our 25-year limited warranty on power output. A global leader in solar electricity, Sharp powers more homes and businesses than any other solar manufacturer worldwide.

240 WATT

NU-U240F2

NEC 2008 Compliant
Module output cables: 12 AWG PV Wire

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Power (Pmax)*	240 W
Tolerance of Pmax	+10%/-5%
Type of Cell	Monocrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	30.1 V
Short Circuit Current (Isc)	6.65 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.98 A
Module Efficiency (%)	14.7%
Maximum System (DC) Voltage	600 V
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.465%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.327%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.052%/°C


*Minimum or 1 solar (1 sun) at spectral distribution AM 1.5 (with air mass spectral irradiance) at a cell temperature of 25°C.

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L x W x H) (mm)	387 x 549 x 37 (max) 387 x 549 x 34 (min)
Cable Length (G)	1200/1000 mm
Output Interconnect Cable**	12 AWG with MC4 Locking Connector
Weight	4.13 lbs / 18.8 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)
Operating Temperature (opt)	-40 to 124°F / -40 to 50°C

**A safety lock clip (pull contact part number PV-2004) may be required in readily accessible locations per NEC code and in (C) regions per UL subject 4703.

QUALIFICATIONS

UL Listed	UL 7001	
Fire Rating	Class C	

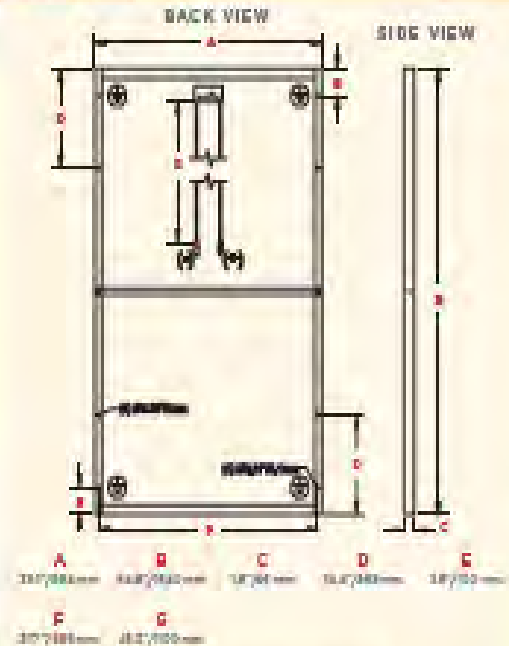
WARRANTY

25-year limited warranty on power output
Contact Sharp for complete warranty information

Design and specifications are subject to change without notice.
Sharp is a registered trademark of Sharp Corporation. All other trademarks are property of their respective owners. Contact Sharp or your distributor for product manuals before using any Sharp device. Cover photo: Solar panels on a roof. © 2013 Sharp.



DIMENSIONS



contact sharp for tolerance specifications

BUY AMERICAN

Sharp solar modules are manufactured in the United States and Japan, and qualify as "American" goods under the "Buy American" clause of the American Recovery and Reinvestment Act (ARRA).

SUNNY TRIPOWER
10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL



Υψηλή απόδοση

- Μέγιστη βαθμίδα απόδοσης επί 98,1 %
- Μέγιστος μηχανικός απόδοσης, ημερήσια μέγιστη ισχύς φέρει επί C_{max} 1000W / Peak
- Δυναμότητα με Bluetooth*

Ασφάλεια

- Πάρα γενική ασφάλεια προστασίας έναντι και ανθρώπων, βλάβης, υπερχαμάλωσης
- Διακόπτες ασφαλείας, απάντη για υπέρταση DC (T_{max} 5)
- Εντοπισμός κλάδων υπερτάσεων

Ευελιξία

- Τύποι καλωδίων DC έως 1.000V
- Γενικευμένες λειτουργίες διαχείρισης ενέργειας
- Απλό και εύκολο, υπερβολικά ασφαλισμένη φέρει επί C_{max}

Ευκολία

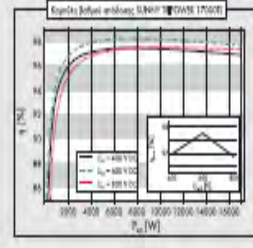
- Τριφασική εγκατάσταση
- Σύνθετοι και αυτοκίνητοι χωρίς κερμάδια
- Έπιση σύνδεση σύνδεσης DC SUNCTB
- Έπιση προβάθρα τήξης κλωδών

SUNNY TRIPOWER
10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL

Τριφασικός για εύκολο σχεδιασμό του συστήματος

Ο τριφασικός μεταρρυθμιστής Sunny Tripower ενδείκνυται για τη διασφάλιση για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλέγματος χάρη στη νέα τεχνολογία C_{max} με δύο βαθμούς σίγασης σημαίας μέγιστης ισχύος MPPT και με μεγάλο κύριο τρέμα τάσης εισόδου. Επιπλέον εξασφαλίζει μέγιστη ευελιξία στο σχεδιασμό της εγκατάστασης - έως και εγκατάσταση κλίμακας Megawatt. Ο Sunny Tripower πληροί όλες τις απαιτήσεις για την παροχή άριστης ισχύος, τη διαχείριση προφίλ τάσης και την υποστήριξη δικτύου συμβάλοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου. Το ολοκληρωμένο σύστημα ασφαλείας C_{max} προστατεύει με αποδοτικό βελθόνο απομακρυσμένων ηλεκτρονική ασφάλεια των στοιχείων και αναμειγμένο αποδοτικό υπέρταση DC. Έτσι οι εξασφαλίζουν την υψηλή διαθεσιμότητα του μεταρρυθμιστή.

Υψηλά χαρακτηριστικά	Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 17000TL
Βάθος [DC]				
Μέγιστη ισχύς DC (P _{max} @ 25°C)	10000 W	12200 W	15420 W	17610 W
Μέγιστη ισχύς AC	10000 VA	12200 VA	15420 VA	17610 VA
Εύρος τάσης ημερήσιας μέγιστης ισχύος (MPPT)	320V - 800V	380V - 800V	390V - 800V	400V - 800V
Χωρησιμότητα ισχύος DC	600 V	600 V	600 V	600 V
Τάση ισχύος DC / Τάση εισόδου	150 V / 180 V	150 V / 180 V	150 V / 180 V	150 V / 180 V
Μέγιστη ροή εισόδου / ανά μεταρρυθμιστή	A 22 A, B 11 A / 22 A	A 22 A, B 11 A / 22 A	A 22 A, B 11 A / 22 A	A 22 A, B 11 A / 22 A
Αριθμός ημερήσιας MPPT (χρησιμοποιώντας κλάδους MPPT)	2 / A, 4 / B	2 / A, 4 / B	2 / A, 4 / B	2 / A, 4 / B
Μέγιστη ισχύς AC (P _{max} @ 230 V, 50 Hz)	10000 W	12200 W	15420 W	17610 W
Μέγιστη ροή εισόδου ισχύος AC	10000 VA	12200 VA	15420 VA	17610 VA
Χωρησιμότητα ισχύος ημερήσιας ισχύος AC	2 / N / R, 230 V / 400 V, 50 V, 230 V	2 / N / R, 230 V / 400 V, 50 V, 230 V	2 / N / R, 230 V / 400 V, 50 V, 230 V	2 / N / R, 230 V / 400 V, 50 V, 230 V
Συντελεστής διατάξης ισχύος AC	30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5%	30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5%	30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5%	30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5% / 30, 40 Hz, -0,1% +5%
Μέγιστη ροή εισόδου	18 A	18 A	18 A	18 A
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	0,8 αναρρόφησης - 0,8 αναδότησης	0,8 αναρρόφησης - 0,8 αναδότησης	0,8 αναρρόφησης - 0,8 αναδότησης	0,8 αναρρόφησης - 0,8 αναδότησης
Όμοια αναρρόφησης / Όμοια αναδότησης / Ημερήσια διατάξη	2 / 2 / -	2 / 2 / -	2 / 2 / -	2 / 2 / -
Βαθμίδα απόδοσης				
Μέγιστη βαθμίδα απόδοσης / Βαθμίδα (EMA)	98,1 % / 97,7 %	98,1 % / 97,7 %	98,1 % / 97,8 %	98,1 % / 97,8 %
Διατάξεις προστασίας				
Γενικευμένη προστασία έναντι DC / προστασία από υπερτάσεις τάσης	● / Διατάξεις	● / Διατάξεις	● / Διατάξεις	● / Διατάξεις
Απομόνωση φάσης DC IEC	●	●	●	●
Απομόνωση έναντι υπερτάσεων AC	●	●	●	●
Εντοπισμός διαρροών κλάδων ισχύος η. μ.	●	●	●	●
Εντοπισμός βλάβης (SMA grid fault)	●	●	●	●
Ασφάλεια από υπερτάσεις / Απώλεια απόδοσης ισχύος που οφείλεται σε υπέρταση σε όλα τα στάδια	- / ●	- / ●	- / ●	- / ●
Απομόνωση απόδοσης DC (T _{max} 5)	○	○	○	○
Εντοπισμός βλάβης υπερτάσεων	●	●	●	●
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία απόδοσης	1 / B	1 / B	1 / B	1 / B
Ανάλογα χαρακτηριστικά				
Διαστάσεις (H / L / P) σε mm	662 / 990 / 265	662 / 990 / 265	662 / 990 / 265	662 / 990 / 265
Βάρος	20 kg	20 kg	20 kg	20 kg
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C - +40 °C	-25 °C - +40 °C	-25 °C - +40 °C	-25 °C - +40 °C
Επισημασμένη ισχύς	www.SMA.Hellas.com	www.SMA.Hellas.com	www.SMA.Hellas.com	www.SMA.Hellas.com
Όμοια αποδοτικότητα (ημερήσια)	1 W	1 W	1 W	1 W
Λειτουργία	Κατά μεταρρυθμιστή	Κατά μεταρρυθμιστή	Κατά μεταρρυθμιστή	Κατά μεταρρυθμιστή
Τύπος κλωδών	C _{max} / C _{max}	C _{max} / C _{max}	C _{max} / C _{max}	C _{max} / C _{max}
Εύρος προστασίας ηλεκτρονικών στοιχείων / Γενική ασφάλεια έναντι υπέρτασης DC (C _{max})	985 / 954	985 / 954	985 / 954	985 / 954
Κατηγορία κλάδων προστασίας έναντι DC (C _{max})	20 A	20 A	20 A	20 A
Εξοπλισμός				
Σύνδεση DC SUNCTB	●	●	●	●
Σύνδεση AC έναντι υπερτάσεων / Διατάξεις απόδοσης	- / ●	- / ●	- / ●	- / ●
Ομόμοια προστασία / Γενική	- / ●	- / ●	- / ●	- / ●
Διατάξεις C _{max} / Διατάξεις	○ / ●	○ / ●	○ / ●	○ / ●
Επίσημη S / R / S / R / 25 φάσεις	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Προστασία από υπερτάσεις (προστασία κλάδων ισχύος)	CE, VDE 01261-1, IEC 60364-4-41, EN 50477, EN 50478, C10, C11, IEC 61727	CE, VDE 01261-1, IEC 60364-4-41, EN 50477, EN 50478, C10, C11, IEC 61727	CE, VDE 01261-1, IEC 60364-4-41, EN 50477, EN 50478, C10, C11, IEC 61727	CE, VDE 01261-1, IEC 60364-4-41, EN 50477, EN 50478, C10, C11, IEC 61727
* Δες επίσης για όλα τα άλλα τα χαρακτηριστικά του προϊόντος EN 50478				
● Διατάξεις εξοπλισμού - ○ Προστασίες - Δες διατάξεις				
Προστασία από υπερτάσεις, κλάδους ισχύος 2011 - Σχεδιασμός προστασίας από υπερτάσεις				
Κατάσταση	SP 10000 TL	SP 12000 TL	SP 15000 TL	SP 17000 TL



Εξοπλισμός

- Απομόνωση DC (C_{max})
- Απομόνωση DC (C_{max})

Πίνακας / Ορολογία

Εξοικείωση με την ορολογία	
Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε τη σύντμηση Φ/Β για τη λέξη "φωτοβολταϊκό" (photovoltaic - PV).
Φωτοβολταϊκό στοιχείο	Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (PV cell).
Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας (PV module).
Φωτοβολταϊκό πάνελ	Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (PV panel).
Φωτοβολταϊκή συστοιχία	Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PV array).
Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	Το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (PV generator).
Αντιστροφέας (inverter)	Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.
Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller)	Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.
kW (κιλοβάτ) kWp (κιλοβάτ πικ-peak) kWh (κιλοβατώρα)	μονάδα ισχύος [1 kW = 1.000 Watt, 1 MW = 1.000 kW] μονάδα ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού (ίδιο με το kW) μονάδα ενέργειας

(Πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) από:
<http://www.helapco.gr/pages/greek/faq.htm>)