



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

ΠΑΡΚΟΥ 99.84 ΚWp

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων : Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2016

Αθήνα, Ιούνιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

ΠΑΡΚΟΥ 99.84 ΚWp

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων : Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την/10/2016

.....
Μ.Γ ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....
Ν.ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Π.ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ

Λέκτορας Ε.Μ.Π

.....

Καμπούρης Κωνσταντίνος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Καμπούρης Κωνσταντίνος, Ιούνιος 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια και επιβλέπουσα κα Μ.Π. Ιωαννίδου για την πολύτιμη βοήθεια της ,την επίβλεψη της αλλά και τις γνώσεις που αποκόμισα από την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Επιπλέον ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον ηλεκτρολόγο μηχανικό και πολύ καλό μου φίλο Θεολόγο για την βοήθεια και τις γνώσεις που μου παρείχε τόσο κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας όσο και κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, τις πιο θερμές μου ευχαριστίες οφείλω στην οικογένεια μου Αντρέα, Άντζη , Άννα και Γεωργία για την βοήθεια τους τόσο σε υλικό όσο και σε ηθικό επίπεδο καθώς και την Γωγώ για την υποστήριξη της κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνοοικονομική μελέτη ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 100 KWp. Αρχικά γίνεται παρουσίαση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έπειτα αναλύεται ο ήλιος ως πηγή ενέργειας και οι ηλιακές γωνίες. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και επεξηγούμε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την απόδοση των φωτοβολταϊκών κυττάρων και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Ακολούθως αναλύουμε όλες τις τεχνολογίες που συμμετέχουν σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα δίνοντας έμφαση στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τους αντιστροφείς.

Ακολουθεί η σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 99,84 KWp στην περιοχή της Λευκωσίας στην Κύπρο. Οι φάσεις που πρέπει να ακολουθηθούν είναι διακριτές και προκαθορισμένες, κάθε μία από τα οποίες έχει μεγάλη σημασία για το τελικό αποτέλεσμα. Τα στάδια αυτά, με την σειρά που μελετώνται, είναι η διαδικασία αδειοδότησης, η επισκόπηση του χώρου, η χωροθέτηση, ο υπολογισμός και η διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής μονάδας, ο υπολογισμός των AC και DC καλωδιώσεων και των διατάξεων προστασίας και τέλος η κατασκευή αντικεραυνικής προστασίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση της επένδυσης χρησιμοποιώντας τα κριτήρια της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Φωτοβολταϊκά, Ηλιακή Ενέργεια, Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Πάρκου, Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου, Βήμα Χωροθέτησης, Αξιολόγηση Επένδυσης.

ABSTRACT

The scope of the present thesis is the feasibility study of a PV park with an export capacity of 100 KWp. At the beginning there is a presentation of renewable energy sources . Then the sun is analyzed as an energy source and explanation of the solar angles. Then we present the photovoltaic modules and we explain the photovoltaic effect, the performance of photovoltaic cells and the factors affecting it. Then we analyze all the technologies involved in a photovoltaic system emphasizing solar modules and inverters.

Afterward is the design of a solar park 99,84 KWp in Nicosia region in Cyprus. The steps to be followed are distinct and predetermined, each of which is important for the final result. These stages, in turn studied, is the authorization process, the review of the site, the location, the calculation and dimensioning of the PV module, the calculation of the AC and DC wiring and protection devices and finally the construction of lightning protection.

The last chapter is the evaluation of the investment using the criteria of NPV and IRR.

KEYWORDS

Photovoltaic, Solar Energy, PV plant installation , PV plant placement, stringbox location, Investment rating

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 4 -
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	- 9 -
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	- 10 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 11 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 12 -
1.1 Ορισμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	- 12 -
1.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια	- 13 -
1.3 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροιακών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων (ocean energy)	- 14 -
1.4 Βιομάζα	- 15 -
1.5 Γεωθερμική ενέργεια	- 15 -
1.6 Αιολική ενέργεια	- 16 -
1.7 Ηλιακή ενέργεια.....	- 17 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΗΛΙΟΣ.....	- 18 -
2.1 Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας	- 18 -
2.2 Ηλιακή Γεωμετρία	- 19 -
2.3 Προσδιορισμός τοποθεσίας πάνω στην Γη.....	- 20 -
2.4 Ηλιακές γωνίες	- 21 -
2.5 Ηλιακή ώρα	- 23 -
2.6 Ηλιακή ακτινοβολία-Ροή και διακύμανση	- 24 -
2.7 Ηλιακή σταθερά.....	- 26 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Φωτοβολταϊκά στοιχεία	- 27 -
3.1 Ημιαγωγοί-Πυρίτιο.....	- 27 -
3.1.1 ημιαγωγοί.....	- 27 -
3.1.2 πυρίτιο.....	- 27 -
3.1.3 φράγμα δυναμικού	- 28 -
3.1.4 Επαφή.....	- 29 -
3.1.5 Ενεργειακό χάσμα	- 30 -
3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	- 30 -
3.3 Ισοδύναμο Κύκλωμα – I-V Χαρακτηριστική	- 32 -
3.4 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών κυττάρων	- 36 -
3.4.1 Ορισμός βαθμού απόδοσης.....	- 36 -
3.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	- 36 -
3.5 Συστοιχίες κυττάρων	- 41 -

3.6 Το φαινόμενο hot-spot	- 43 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	- 44 -
4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	- 44 -
4.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	- 44 -
4.1.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	- 45 -
4.1.3 Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)	- 46 -
4.1.4 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία	- 49 -
4.1.5 Οργανικά πολυμερή κελιά	- 49 -
4.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ (INVERTER DC-AC)	- 50 -
4.2.1 ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΤΡΟΦΕΑ	- 50 -
4.2.2 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ	- 51 -
4.2.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	- 53 -
4.3 ΒΑΣΕΙΣ	- 58 -
4.3.1 ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΛΙΣΗΣ	- 58 -
4.3.2 ΒΑΣΕΙΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ	- 61 -
4.3 ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ	- 64 -
4.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	- 65 -
4.5 ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	- 65 -
4.6 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	- 66 -
4.6.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	- 66 -
4.6.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	- 67 -
4.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	- 68 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 99.84 kWp	- 69 -
5.1 Διαδικασία αδειοδότησης	- 69 -
5.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ	- 73 -
5.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	- 77 -
5.4 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ	- 84 -
5.5 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ DC,	- 87 -
5.6 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ AC	- 88 -
5.7 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ AC (ΙΣΧΥΟΣ)	- 88 -
5.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ	- 89 -
5.9 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	- 90 -
5.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	- 90 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	- 92 -

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 92 -
6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΔΩΝ.....	- 94 -
6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΠΑ.....	- 95 -
6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΒΑ	- 97 -
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 98 -
Βιβλιογραφία	- 99 -

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Περιήλιο-Αφήλιο	- 19 -
Εικόνα 2 Ηλιακές γωνίες	- 21 -
Εικόνα 3 Ηλιακές γωνίες 2	- 23 -
Εικόνα 4 Ηλιακή ακτινοβολία	- 25 -
Εικόνα 5 τετραεδρική δομή ατόμου πυριτίου	- 28 -
Εικόνα 6 Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου	- 28 -
Εικόνα 7 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	- 30 -
Εικόνα 8 Δίοδος p-n όταν φωτίζεται και όταν όχι	- 32 -
Εικόνα 9 Ισοδύναμο κύκλωμα ηλιακού κυττάρου	- 33 -
Εικόνα 10 I-V και P-V ηλιακού κυττάρου	- 34 -
Εικόνα 11 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην χαρακτηριστική I-V	- 37 -
Εικόνα 12 Απόδοση συνάρτηση της θερμοκρασίας	- 38 -
Εικόνα 13 Καθαρισμός ηλιακών πλασιών	- 40 -
Εικόνα 14 Ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά	- 41 -
Εικόνα 15 Ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα παράλληλα	- 42 -
Εικόνα 16 σκιασμένο κύτταρο με δίοδο παράκαμψης	- 43 -
Εικόνα 17 πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου	- 44 -
Εικόνα 18ψ πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου	- 45 -
Εικόνα 19 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός	- 46 -
Εικόνα 20 Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου	- 47 -
Εικόνα 21 Πλαίσιο τελουριούχου κάδμιου	- 48 -
Εικόνα 22 φωτοβολταϊκό στοιχείο αρσενικούχου γάλλιου	- 48 -
Εικόνα 23 πολυστρωματικό φωτοβολταϊκό στοιχείο 1	- 49 -
Εικόνα 24 σύστημα στήριξης με πασσαλόμπηξη	- 59 -
Εικόνα 25 σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε πέγμα από	- 61 -
Εικόνα 26 σύστημα ιχνηλάτησης διπλού άξονα 1	- 63 -
Εικόνα 27 Ακτινοβολία	- 74 -
Εικόνα 28 Θερμοκρασία	- 74 -
Εικόνα 29 Βροχόπτωση	- 75 -
Εικόνα 30 Ακτινοβολία 2	- 75 -
Εικόνα 31 Διάρκεια ηλιοφάνειας	- 76 -
Εικόνα 32 Θερμοκρασία 2	- 76 -
Εικόνα 33 πλαίσιο LX-260P60	- 77 -
Εικόνα 34 datasheet πλαισίου LX-260P60 1	- 78 -
Εικόνα 35 inverter STP 15000TL-30	- 79 -
Εικόνα 36 datasheet inverter STP 15000TL-30 1	- 80 -
Εικόνα 37 παράδειγμα διάταξης 3 portrait	- 84 -
Εικόνα 38 ο κανόνας του διπλάσιου ύψους	- 85 -
Εικόνα 39 Κάτοψη οικοπέδου	- 86 -
Εικόνα 40 καλωδίωση DC	- 87 -
Εικόνα 41 Καλωδίωση AC	- 88 -
Εικόνα 42 Συνολική διαστασιολόγηση αγωγών 1	- 89 -
Εικόνα 43 Χρόνος απόσβεσης	- 96 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Είδος περιβαλλοντικής μελέτης για κάθε μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας	- 70 -
Πίνακας 2 Μετεωρολογικά δεδομένα Λευκωσίας	- 73 -
Πίνακας 3 Πάγια έξοδα	- 94 -
Πίνακας 4 Λειτουργικά έξοδα	- 94 -
Πίνακας 5 Υπολογισμός ΚΠΑ	- 95 -
Πίνακας 6 Υπολογισμός ΕΒΑ	- 97 -

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια συνδέεται άμεσα με την επιβίωση και την ευημερία του σύγχρονου ανθρώπου. Η ικανοποίηση των καθημερινών αναγκών του εξαρτάται από την ύπαρξη και τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Θέρμανση, φωτισμός, εστίαση, επικοινωνία και μεταφορές είναι μόνο λίγες από τις απαιτήσεις που ικανοποιούνται με την χρήση ηλεκτρισμού.

Το σύνολο των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα ορυκτά καύσιμα που προέρχονται από το υπέδαφος γνωστά και ως συμβατικά καύσιμα, και η δεύτερη αφορά τις πηγές ενέργειας που υπάρχουν και θα υπάρχουν στο περιβάλλον για πάντα δηλαδή τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Τα ορυκτά καύσιμα, από τα οποία προέρχεται το 86% [1] της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, είναι ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Επίσης το ουράνιο είναι το βασικό υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική. Όμως τα συμβατικά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια έχουν δύο μεγάλα μειονεκτήματα. Αρχικά, χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να δημιουργηθούν και έτσι εξαντλούνται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα θα διαρκέσουν ακόμα για 143 χρόνια ο κάρβουνο, 61 χρόνια το φυσικό αέριο και 43 χρόνια το πετρέλαιο [2]¹.

Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις είναι το δεύτερο μειονέκτημα που χαρακτηρίζει τα συμβατικά καύσιμα. Κύρια αρνητική επίδραση στο περιβάλλον της χρήσης των ορυκτών καυσίμων είναι η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα που έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ακόμα, με την καύση των ορυκτών καυσίμων εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα άλλες επιβλαβείς ουσίες όπως τα νιτρικά, θειικά ή ανθρακικά οξέα τα οποία είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό της όξινης βροχής. Επίσης σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλείται από την διαδικασία εξόρυξης του άνθρακα καθώς και η τέφρα που δημιουργείται κατά την καύση του. Επιπροσθέτως, οι υπεράκτιες εξορύξεις και η μεταφορά πετρελαίου σε δεξαμενόπλοια εγκυμονούν τον κίνδυνο τραγικής περιβαλλοντικής καταστροφής σε περίπτωση ατυχήματος ή διαρροής του υγρού στην θάλασσα. Τέλος, τα πυρηνικά απόβλητα και οι τρομακτικές συνέπειες ενός πυρηνικού ατυχήματος βάζουν φρένο στην αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας.

Όλες οι συμβατικές πηγές ενέργειας συνδέονται με πολύ σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον και το μέλλον της ανθρωπότητας. Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη

¹ Οι εκτιμήσεις έχουν γίνει με την παραδοχή ότι το επίπεδο κατανάλωσης θα παραμείνει σταθερό και πως όλες οι πηγές ορυκτών καυσίμων έχουν ανακαλυφθεί.

αντικατάστασης των συμβατικών πηγών με άλλες που ανανεώνονται διαρκώς, δεν ρυπαίνουν και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ορισμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται ως οι πηγές ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλα. Αναφέρονται και ως ήπιες μορφές ενέργειας ή νέες μορφές ενέργειας.

Ο όρος ήπιες οφείλεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση του ανθρώπου όπως εξόρυξη, καύση ή άντληση αλλά αρκεί ο άνθρωπος να ακολουθήσει την ήδη υπάρχουσα ροή ενέργειας στην φύση. Δεύτερον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πηγές οι οποίες δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον δηλαδή δεν αποδεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και άλλα τοξικά απόβλητα όπως οι συμβατικές πηγές ενέργειας.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κυρίως στην ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος στην γη, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια σε διαφορετικές μορφές, η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες εμπόδισαν την εκμετάλλευσή έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Οι απανωτές πετρελαϊκές κρίσεις την δεκαετία του 1970 καθώς και η πτώση στην ποιότητα ζωής λόγω της επίδρασης των συμβατικών πηγών ενέργειας στο περιβάλλον, οδήγησαν στην αύξηση του ενδιαφέροντος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ιδιαίτερα

ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν να εφαρμόζονται πειραματικά. Σήμερα όμως τα ανεπτυγμένα κράτη σχεδιάζουν και λαμβάνουν υπόψη την εφαρμογή τους για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών και παρ' όλο που αποτελούν μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Επίσης, την τελευταία εικοσαετία το κόστος των εφαρμογών διαρκώς μειώνεται και η απόδοση τους ολοένα και ανεβαίνει, έτσι σιγά σιγά ήπιες μορφές ενέργειας όπως υδροηλεκτρική, αιολική και βιομάζα ανταγωνίζονται στα ίσια συμβατικές μεθόδους παραγωγής όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

1.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια περιστρεφόμενων από νερό στρόβιλων που μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Για την κίνηση των στρόβιλων αξιοποιείται η κίνηση μεγάλων ποσοτήτων νερού που μεταφέρονται ελεγχόμενα από ένα σημείο σε ένα άλλο, τα οποία έχουν μεταξύ τους μεγάλη υψομετρική διαφορά. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί είτε αξιοποιώντας την φυσική ροή του νερού, όπως ποτάμια, είτε από ανθρώπινες δημιουργίες όπου το νερό ρέει από μια τεχνητή κοιλότητα μέσω μίας σήραγγας .

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σημερινό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας σε περισσότερο από 16% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο και περίπου το 85% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές [1]. Συχνά βοηθάει στην αντιστάθμιση των διακυμάνσεων ανάμεσα σε παραγωγή και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι μία καθαρή μορφή ενέργειας που υπάρχει στην φύση, απόλυτα ανανεώσιμη που προσφέρει ηλεκτρισμό χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, η ανάπτυξη αυτής της μορφής ενέργειας συχνά προσφέρει και άλλα οφέλη. Τα πιο σημαντικά είναι η προσφορά νερού, ο έλεγχος της ξηρασίας, των πλημμυρών και η άρδευση. Στην συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι υπάρχουσες τεχνολογίες στην υδροηλεκτρική ενέργεια.

Υδροηλεκτρικός σταθμός από την ροή ποταμού

Εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα ενέργεια από την ροή του ποταμού. Αυτοί οι σταθμοί συνήθως περιλαμβάνουν βραχυπρόθεσμη αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέποντας την προσαρμογή στις αλλαγές ζήτησης του φορτίου. Όπως είναι λογικό η παραγωγή εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και έχει ημερήσιες, μηνιαίες και εποχικές διακυμάνσεις.

Υδροηλεκτρική μονάδα με φράγμα

Σε αυτήν την περίπτωση η παραγωγή βασίζεται σε αποθηκευμένο νερό εντός μίας κοιλότητας μετά την κατασκευή φράγματος. Αυτό παρέχει την δυνατότητα να παραχθεί

ηλεκτρική ενέργεια την στιγμή της ζήτησης και μειώνει την άμεση εξάρτηση από τις βροχοπτώσεις. Μεγάλες τεχνητές λίμνες μπορούν να προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια για μήνες ή ακόμα και χρόνια με την μέση τιμή εισροών νερού. Επίσης τέτοια έργα παρέχουν υπηρεσίες προστασίας από πλημμύρες και διευκολύνουν την άρδευση. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου υδροηλεκτρικού σταθμού εξαρτάται από το περιβάλλον, τις κοινωνικές και τις τοπικές συνθήκες. Επισημαίνεται ότι για τέτοιους σταθμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και φυσικές λίμνες.

Υδροηλεκτρική μονάδα αντλησιοταμίευσης

Η μέθοδος αυτή αποθηκεύει ενέργεια με την μορφή δυναμικής βαρυτικής ενέργειας του νερού το οποίο αντλείται από μια δεξαμενή σε χαμηλότερο επίπεδο σε μία άλλη σε υψηλότερο επίπεδο. Έπειτα σε περιόδους υψηλής ζήτησης το νερό απελευθερώνεται και μέσω στροβίλων που στρέφουν ηλεκτρογεννήτριες παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Παρ' όλο που για την άντληση καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια το κέρδος της εν λόγω διαδικασίας προκύπτει από την εκμετάλλευση της διαφοράς στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες μεγάλης και μικρής ζήτησης φορτίου.

1.3 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροιακών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων (ocean energy)

Καμία από τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ροής ενέργειας των ωκεανών δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Μόνο μερικά συστήματα μεγάλης κλίμακας βρίσκονται σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο, κυρίως στην Κορέα (254 MW) και στην Γαλλία (240 MW) [1].

Η παλιρροϊκή ενέργεια ήταν υπό ανάπτυξη από το 1970. Πολλές έννοιες του σχεδιασμού εξακολουθούν να ερευνώνται και από τους κορυφαίους αυτούς σχεδιασμούς έχουμε πλέον φτάσει στο σημείο όπου κατασκευάζονται εγκαταστάσεις κλίμακας μεγάβāt. Αν και οι συσκευές βρίσκονται σε εξέλιξη σε πολλές χώρες, η συγκέντρωση των προσπαθειών για ανάπτυξη και επίδειξη βρίσκεται σε εξέλιξη στο Ηνωμένο Βασίλειο, και ιδιαίτερα στη Σκωτία. Επίσης αξιόλογες προσπάθειες γίνονται στην περιοχή της Νέας Αγγλίας των Ηνωμένων Πολιτειών και την επαρχία της Νέας Σκωτίας στον Καναδά.

Η παραγωγή από τις παλίρροιες δεν είναι σταθερή αλλά είναι εύκολα προβλέψιμη. Οι προκλήσεις της τεχνολογίας που σχετίζονται με την αποτελεσματική αναχαίτιση της ενέργειας από το κύμα ή την παλιρροϊκή ενέργεια είναι σημαντικές, ιδιαίτερα με δεδομένη την ανάγκη οι τεχνολογίες αυτές να επιβιώσουν και να λειτουργούν σε δύσκολες συνθήκες. Άλλα ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή, το περιβάλλον και άλλους τομείς που σχετίζονται με την εκμετάλλευση της θάλασσας όπως η ναυτιλία, βιομηχανία αλιείας, κ.λπ.

1.4 Βιομάζα

Βιομάζα είναι κάθε οργανική ύλη που προέρχεται από φυτά ή ζώα σε ανανεώσιμη βάση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Περιλαμβάνει το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιοενέργεια αντιπροσωπεύει περίπου το 10% [1] της συνολικής παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας εφοδιασμού σήμερα. Χρησιμοποιείται κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες για μαγείρεμα και θέρμανση αναποτελεσματικά και με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον (ρύποι, καπνός και αποξήλωση δασών). Αντίθετα, η σύγχρονη προσφορά βιοενέργειας είναι μικρή αλλά αυξάνεται σταθερά κατά την τελευταία δεκαετία. Ο διεθνής οργανισμός ενέργειας αναφέρει ότι κατά το 2012 το 1,5% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προήρθε από βιομάζα, αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί σε 370 TWh.

1.5 Γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια και με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Αν και η χρήση των γεωθερμικών πηγών είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια, η έρευνα για βιομηχανικούς σκοπούς ξεκίνησε στις αρχές του 19ου αιώνα στην Ιταλία. Στο τέλος του 19ου αιώνα, το πρώτο σύστημα θέρμανσης από γεωθερμική ενέργεια άρχισε να λειτουργεί στις ΗΠΑ, με την Ισλανδία να ακολουθεί μετά από τη δεκαετία του 1920. Στην αρχή του 20ου αιώνα, επιτεύχθηκε η πρώτη επιτυχής προσπάθεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική πηγή. Από τότε, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία αυξήθηκε σταθερά φθάνοντας πάνω από 75 TWh το 2013 [1].

Η γεωθερμική ενέργεια παρέχει παραγωγή σταθερού φορτίου, δεδομένου ότι δεν επηρεάζεται από καιρικά φαινόμενα και δεν παρουσιάζει εποχική διακύμανση. Η απόδοση των νέων γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να φτάσει έως και 95%.

1.6 Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Για την ηλεκτροπαραγωγή η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική σε ανεμογεννήτριες.

Η αιολική ενέργεια, όπως και οι άλλες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές, είναι ευρέως διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο και μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικούς τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενισχύει την ενεργειακή ποικιλομορφία και αντισταθμίζει την αστάθεια των τιμών των ορυκτών καυσίμων, σταθεροποιώντας έτσι το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μακροπρόθεσμη βάση.

Αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επιπλέον δεν καταναλώνει νερό. Τέλος, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200 - 400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή - και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες - για την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1-3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταγράφεται ως η 2η μεγαλύτερη σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ηλιακή, καλύπτοντας από ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στην στεριά το 2,5% της παγκόσμιας ζήτησης [1].

1.7 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η εκμετάλλευση χωρίζεται σε 3 κατηγορίες, τα φωτοβολταϊκά, τα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την ηλιακή θέρμανση.

Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρισμό. Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό κύτταρο, το οποίο είναι μια συσκευή ημιαγωγών που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε συνεχές ρεύμα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια φωτοβολταϊκή μονάδα, συνήθως έως 50 έως 250 Watt. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες, σε συνδυασμό με μια σειρά πρόσθετων κατασκευαστικών στοιχείων που εξαρτώνται από την εφαρμογή του συστήματος (π.χ. μετατροπείς, μπαταρίες, ηλεκτρικά εξαρτήματα και συστήματα στήριξης), σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι εξαιρετικά μεταβαλλόμενα ως προς την ισχύ που μπορούν να αποδώσουν. Δηλαδή μονάδες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους για την παροχή ρεύματος που κυμαίνονται από λίγα watt σε εκατοντάδες MW

Οι πιο εδραιωμένη τεχνολογία Φωτοβολταϊκών είναι τα κρυσταλλικά συστήματα που βασίζονται στο πυρίτιο. Επίσης τα πάνελ λεπτού ημενίου, τα οποία αποτελούνται από ημιαγωγούς λεπτού πάχους κατασκευασμένα με πολύ μικρή ποσότητα πυριτίου , αντιπροσωπεύουν περίπου το 10% της παγκόσμιας αγοράς. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν πολύ υψηλές αποδόσεις έως και 40% - αλλά μόνο σε σχέση με την άμεση κανονική ακτινοβολία. Άλλες τεχνολογίες, όπως τα οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα, είναι ακόμα στο στάδιο της έρευνας. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά για στο τέλος του 2013 ήταν 128 GW [1].

Ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ηλιοθερμικά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια που μετέπειτα μπορεί να παράξει ηλεκτρισμό. Συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια σε ένα νεπόζιτο νερού μετατρέποντας το σε ατμό. Στην συνέχεια ο ατμός κινεί μία ατμογεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Μια τέτοια εγκατάσταση περιλαμβάνει ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών, δέκτες, και ένα μετατροπέα ισχύος, όπου η θερμότητα που συλλέγεται μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια, και έπειτα σε ηλεκτρική. Στο μεταξύ, το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερους μεταφορείς θερμότητας ή υγρών εργασίας, ενδεχομένως συσκευές αποθήκευσης θερμότητας ή και συστήματα υβριδισμού με κάποιο καύσιμο. Ένα σύστημα ψύξης, ολοκληρώνει την περιγραφή της εγκατάστασης.

Η διαφορά των ηλιοθερμικών συστημάτων με τα φωτοβολταϊκά είναι ότι τα ηλιοθερμικά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια πρώτα σε θερμική και μετέπειτα σε ηλεκτρισμό, ενώ τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Άλλη μία σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο είναι πως τα φωτοβολταϊκά δεν χρειάζονται ηλιοφάνεια για να παράξουν ηλεκτρισμό.

Ηλιακή θέρμανση

Είναι ηλιοθερμικά συστήματα χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο. Αυτά τα συστήματα δεν παράγουν ηλεκτρισμό αλλά ζεστό νερό για οικιακή ή βιομηχανική χρήση. Υπάρχει πολλές τεχνολογίες με τις οποίες γίνεται η σύλληψη τη ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή σε θερμότητα. Αρκετές τεχνολογίες ηλιακής θέρμανσης είναι ήδη ώριμες και μπορεί να είναι ανταγωνιστικές σε ορισμένες περιοχές του κόσμου σε εφαρμογές όπως θέρμανση νερού οικιακής χρήσης και θέρμανση πισίνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΗΛΙΟΣ

2.1 Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας

Ο ήλιος είναι μία σφαίρα αερίων διαμέτρου 142×10^6 χιλιόμετρα και θερμοκρασίας $5777 \text{ }^\circ\text{K}$ στην επιφάνεια του και $15000000 \text{ }^\circ\text{K}$ στο εσωτερικό του. Περίπου το 74% της μάζας του είναι υδρογόνο, το 25% είναι ήλιο ενώ το υπόλοιπο 1% άλλα στοιχεία. Είναι το κοντινότερο άστρο στην γη, σε μέση απόσταση 149.504.312 χιλιομέτρων, και για τον λόγο αυτό είναι η πηγή ζωής για τον πλανήτη μας.

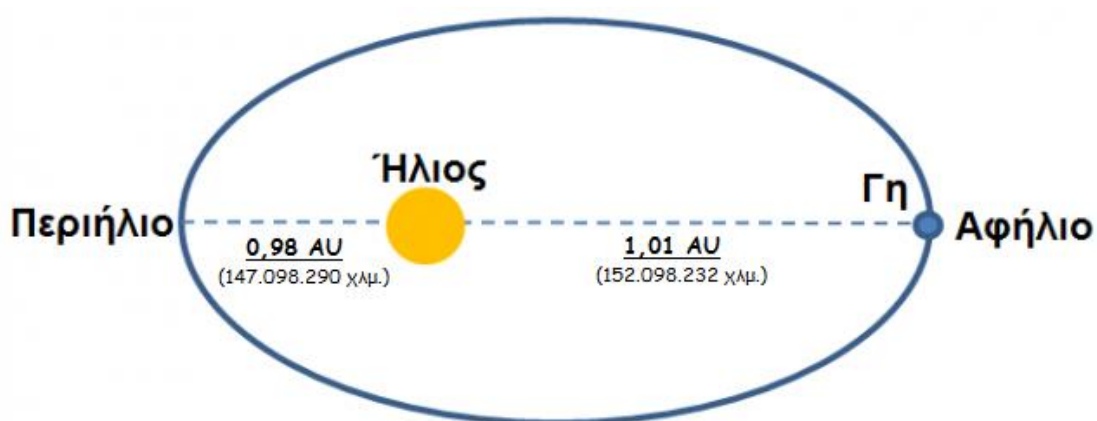
Στο εσωτερικό του εκτυλίσσονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις από τις οποίες προέρχεται και η ηλιακή ενέργεια. Από την σύντηξη τεσσάρων πυρήνων υδρογόνου σχηματίζεται ένας πυρήνας ηλίου, η μικρή ελάττωση μάζας που λαμβάνει χώρα κατά την αντίδραση αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια, η οποία μεταφέρεται από το εσωτερικό του ηλίου στην επιφάνεια του, απ όπου και εκπέμπεται και ως ηλεκτρομαγνητική και σωματιδιακή ακτινοβολία στο διάστημα. Η εκπομπή αυτή είναι ομοιόμορφη προς όλες τις κατευθύνσεις, ωστόσο η γη συλλέγει μόνο ένα μέρος της ενέργειας αυτής.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο διάστημα με την ταχύτητα του φωτός και διανύουν την απόσταση ήλιος-γη σε 8,3 λεπτά. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από 10^{-14} έως 10^{10} m, το σύνολο αυτό των μηκών κύματος αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

2.2 Ηλιακή Γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ώρα, η εποχή, οι καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες, η υγρασία, η κ.α. Ο πιο σημαντικός από αυτούς τους παράγοντες είναι η ηλιακή γεωμετρία.

Η ηλιακή γεωμετρία αναφέρεται στην μελέτη της θέσης του ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο κατά ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ηλιακή γεωμετρία εξαρτάται από δύο κινήσεις. Οι κινήσεις αυτές είναι η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο και η περιστροφή της γύρω από τον εαυτό της. Η Γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο, με τον ήλιο στην θέση της μίας εστίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Η τροχιά αυτή αναπτύσσεται στο εκλειπτικό επίπεδο (ecliptic plane). Η ολοκλήρωση της κίνησης της γης, στο εκλειπτικό επίπεδο, απαιτεί ένα ημερολογιακό έτος (365 ημέρες). Η απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ του κέντρου του Ήλιου και του κέντρου της Γης μεταβάλλεται κατά τη μεταφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια του έτους. Η κοντινότερη απόσταση της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο σηματοδοτεί το περιήλιο, ενώ η μακρινότερη απόσταση σηματοδοτεί το αφήλιο της τροχιάς.



Εικόνα 1 Περιήλιο-Αφήλιο

Ακόμη η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της, ο οποίος είναι ο νοητός άξονας που ενώνει τους 2 πόλους της γης, και ονομάζεται πολικός άξονας. Η περιστροφή γύρω από τον πολικό άξονα απαιτεί 24 ώρες και η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο εκλειπτικό πεδίο και στον πολικό άξονα διατηρείται σταθερή και είναι ίση με 23.45° . Κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο διατηρείται σταθερός ο προσανατολισμός του πολικού άξονα ως προς το εκλειπτικό επίπεδο. Για τους περισσότερους πρακτικούς υπολογισμούς που συνδέονται με την ηλιακή ενέργεια την οποία δέχεται ένας ηλιακός συλλέκτης, είναι χρήσιμο να υποθέτουμε ότι η Γη είναι σταθερή και ότι ο Ήλιος κινείται γύρω της, διαγράφοντας τροχιά πάνω στο εκλειπτικό πεδίο. Στην περίπτωση αυτή, ο πολικός άξονας της Γης είναι κάθετος στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού.

2.3 Προσδιορισμός τοποθεσίας πάνω στην Γη

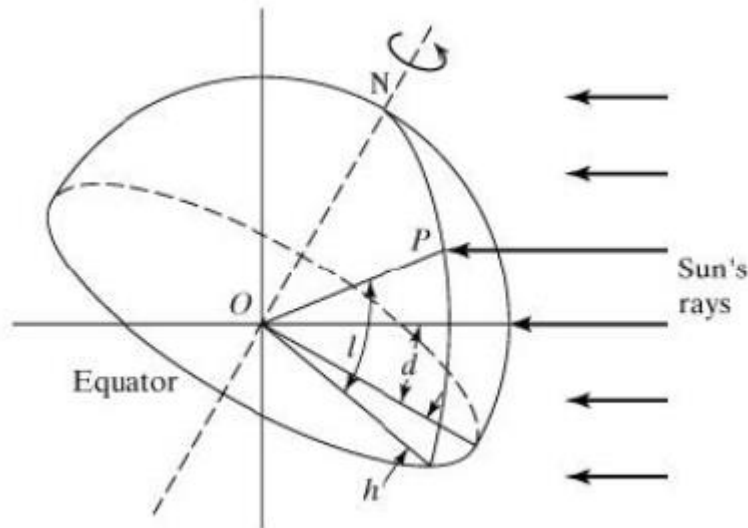
Κάθε τοποθεσία πάνω στη Γη προσδιορίζεται μονοσήμαντα από δύο σφαιρικές συντεταγμένες: το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος. Οι γωνίες μετρούνται από το κέντρο της Γης. Το επίπεδο αναφοράς είναι το επίπεδο του Ισημερινού, το οποίο τέμνει κάθετα τον πολικό άξονα της Γης, και συναντά την επιφάνεια της Γης κατά μήκος του Ισημερινού.

Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται από τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του Ισημερινού και τη νοητή γραμμή που ενώνει το κέντρο της Γης με την τοποθεσία που πρόκειται να προσδιοριστεί πάνω στην επιφάνεια της Γης. Οι κύκλοι που τέμνουν την επιφάνεια της Γης παράλληλα με τον Ισημερινό καθορίζουν τις θέσεις πάνω στην επιφάνεια της Γης με κοινό γεωγραφικό πλάτος. Εξ ορισμού το γεωγραφικό πλάτος λαμβάνεται θετικό στο Βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό στο Νότιο.

Για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους απαιτείται ένα επίπεδο αναφοράς το οποίο θα τέμνει κάθετα το επίπεδο του Ισημερινού και θα περιλαμβάνει τον πολικό άξονα της Γης. Αυτό το επίπεδο δημιουργεί δύο ημικύκλια από τον έναν πόλο έως τον άλλο, που ονομάζονται μεσημβρινοί. Στο γεωγραφικό μήκος μηδέν βρίσκεται εξ ορισμού ο μεσημβρινός που διέρχεται από το Greenwich στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το γεωγραφικό μήκος οποιασδήποτε τοποθεσίας καθορίζεται από τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο μεσημβρινό αναφοράς και το μεσημβρινό ο οποίος περνάει από την τοποθεσία της θέσης που πρόκειται να προσδιοριστεί. Εξ ορισμού το γεωγραφικό μήκος λαμβάνεται θετικό για τα γεωγραφικά μήκη που βρίσκονται δυτικά του Greenwich.

2.4 Ηλιακές γωνίες

Ως ηλιακές γωνίες ορίζουμε κάποιες γωνίες που αφορούν την θέση του ήλιου σε σχέση με ένα σημείο πάνω στην γη και μας βοηθάνε να προσδιορίσουμε την θέση του σημείου στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 2 Ηλιακές γωνίες

Ωριαία γωνία h είναι η γωνία που μετράται στο επίπεδο του ισημερινού μεταξύ της προβολής της ακτίνας OP , που ενώνει το σημείο πάνω στην επιφάνεια της γης το οποίο μελετάμε με το κέντρο της, και της προβολής της νοτιής ευθείας που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ηλίου. Εκφράζει την ώρα της ημέρας σε σχέση με το ηλιακό μεσημέρι.

Γωνία απόκλισης του ηλίου δ , είναι η γωνιακή απόσταση των ακτινών του ηλίου βόρεια ή νότια του ισημερινού. Η απόκλιση είναι θετική όταν οι ακτίνες είναι βόρεια του ισημερινού και αρνητική όταν οι ακτίνες είναι νότια του ισημερινού. Κατά την διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου οι ακτίνες του ηλίου είναι $23,5^\circ$ βόρεια του ισημερινού της γης και κατά τις ισημερίες η απόκλιση είναι μηδέν. Η γωνία απόκλισης δ υπολογίζεται από τον τύπο

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left[\frac{360}{365} * (284 + n)\right]$$

Όπου ο όρος 284 αποδίδει τον αριθμό των ημερών που απαιτούνται να παρέλθουν μετά την εαρινή ισημερία ώστε η θέση του Ήλιου να αντιστοιχεί στην έναρξη του ημερολογιακού έτους.

Μία εναλλακτική σχέση είναι η :

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left[\frac{360}{365} * (n - 81)\right]$$

Και προκύπτει από το γεγονός ότι η πρώτη ημέρα του ημερολογιακού έτους υπολείπεται κατά 81 ημέρες από την επερχόμενη εαρινή ισημερία.

Πέρα από τις βασικές γωνίες που αναφέρθηκαν παραπάνω υπάρχουν και 2 γωνίες οι οποίες μας βοηθούν να προσδιορίσουμε την θέση του Ηλίου. Αυτές είναι το ύψος και το αζιμούθιο.

Ύψος β είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ μιας γωνίας και της οριζόντιας προβολής της και υπολογίζεται από την σχέση

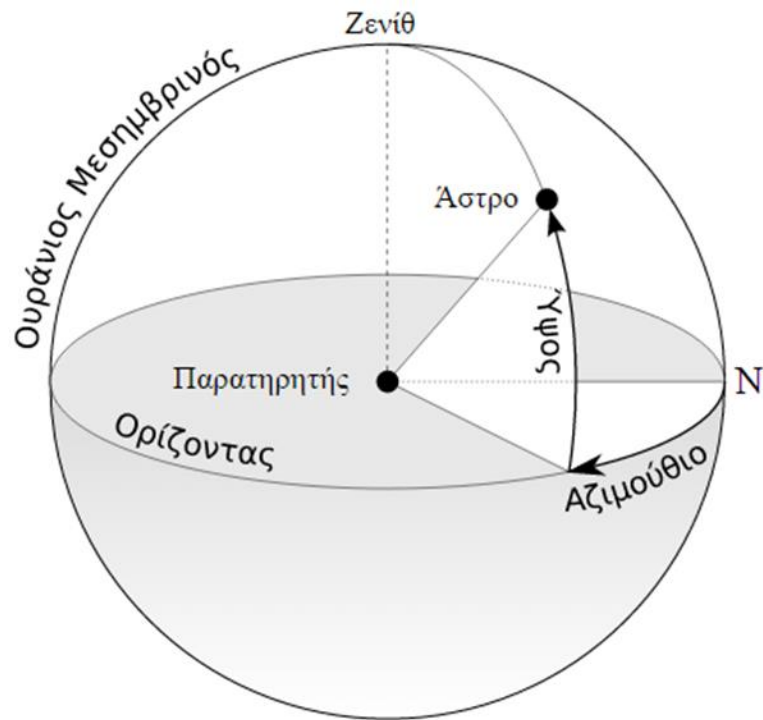
$$\sin\beta = \sin\delta \cdot \sin L + \cos\delta \cdot \cos L \cdot \cos h$$

όπου L το γεωγραφικό πλάτος. Αντί για το ύψος συχνά χρησιμοποιείται η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, η οποία ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση ή ζενιθιακή γωνία του ηλίου.

Αζιμούθιο Z είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της οριζόντιας προβολής της ακτίνας και της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία. Μετράται στο οριζόντιο επίπεδο δεξιόστροφα, με αφετηρία τον Βορρά ή τον Νότο. Η σχέση που δίνει το αζιμούθιο είναι :

$$\cos Z = \frac{\sin\beta * \sin L - \sin\delta}{\cos\beta * \cos L}$$

Ο τύπος προσδιορισμού του αζιμούθιου ισχύει ως έχει μόνο όταν $h \leq 0$. Στην αντίθετη περίπτωση ($h > 0$) ο τύπος παρέχει το $-\cos Z$. Διευκρινίζεται επίσης πως όλες οι γωνίες είναι σε μοίρες.



Εικόνα 3 Ηλιακές γωνίες 2

2.5 Ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα έχει ως αναφορά τον ήλιο και δεν ταυτίζεται με την τοπική ώρα. Ο τύπος υπολογισμού της είναι

$$LST = CT + \frac{(Lstd - Lloc)}{15} + E - DT$$

Όπου

LST : Local solar time – Τοπική ηλιακή ώρα για δεδομένη ημέρα, σε συγκεκριμένη ηλιακή θέση

CT : Clock time – Τοπική ώρα

Lstd : Ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης

Lloc : Το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας για την οποία υπολογίζεται η ηλιακή ώρα

E : Εξίσωση χρόνου

DT: Daylight savings time correction- Διόρθωση θερινής ώρας (για θερινή ώρα έχουμε DT =0)

$$Lst = 15^\circ/h * \Delta T_{GMT}$$

Όπου

Lst : Ο μεσημβρινός αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας

ΔT_{GMT} : Η διαφορά μεταξύ της τοπικής ώρας και της ώρας Greenwich

$15^\circ/h$: $360^\circ/24$ ώρες

Εξίσωση χρόνου :

$$E = 0,165 * \sin 2B - 0,126 * \cos B - 0,025 * \sin B$$

B : γωνία ημέρας

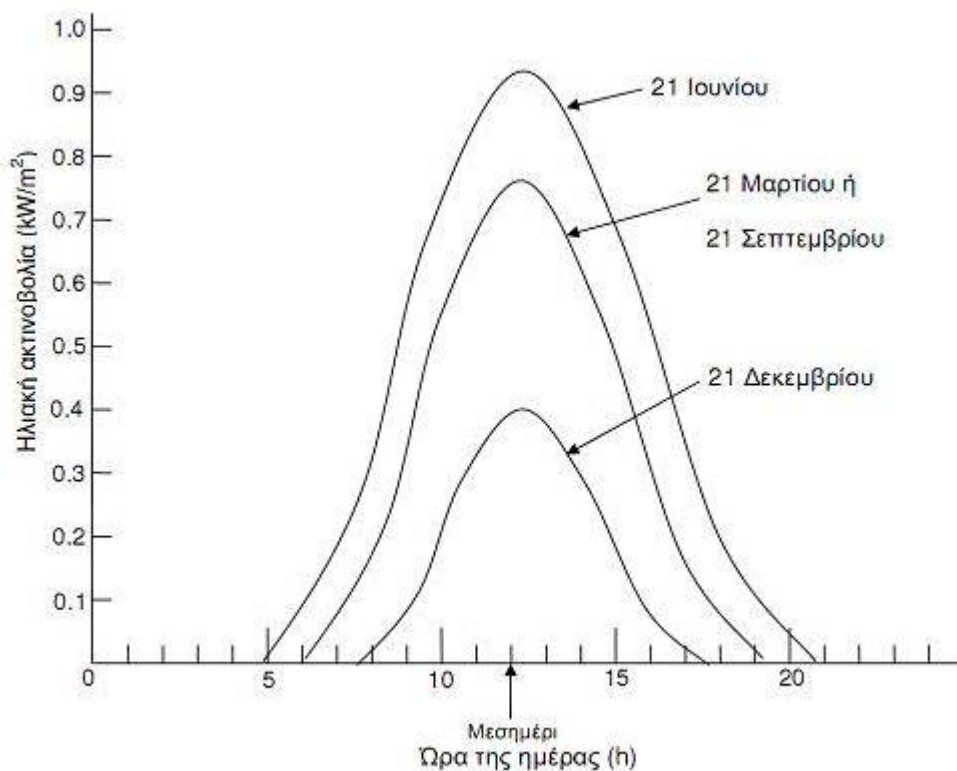
$$B = \frac{360 * (n - 81)}{364}$$

n : Η ημέρα του ημερολογιακού έτους ([3] [4] [5])

2.6 Ηλιακή ακτινοβολία-Ροή και διακύμανση

Ροή της ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στην διεύθυνση της ακτινοβολίας. Μετριέται σε kW/m².

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία σκόνη και άλλα αιωρούμενα σωματίδια. Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μέρος για τις διάφορες ώρες και ημέρες ενός έτους.



Εικόνα 4 Ηλιακή ακτινοβολία

Χαρακτηριστικό μέγεθος για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας μιας περιοχής είναι η αιχμή της που μετράται κατά το ηλιακό μεσημέρι και δείχνει την μέγιστη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια γίνεται μέγιστη όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι όσο το δυνατόν περισσότερο κάθετα.

Επίσης στην διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλει η καθαρότητα του ουρανού, δηλαδή αν έχει ή όχι σύννεφα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρατηρούμε απότομες πτώσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που οφείλονται σε κάποιο νέφος ή κάποιο σμήνος πουλιών που πέρασε πάνω από την περιοχή μέτρησης. Σημειώνεται ότι οι εξάρσεις που παρατηρούμε πάνω από την κανονική τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας (διακεκομμένη γραμμή) οφείλονται στο άθροισμα της άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας και την ανακλώμενη από τα σύννεφα.

Στο βόρειο ημισφαίριο για οριζόντιες επιφάνειες η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται κατά το θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Ιουνίου και η ελάχιστη κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο στις 21 Δεκεμβρίου. Όμως για επιφάνειες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής η μέγιστη τιμή της ακτινοβολίας δεν παρατηρείται κατά το θερινό ηλιοστάσιο, όπως στις οριζόντιες επιφάνειες αλλά κατά τα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών δηλαδή στις 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου. Αυτό συμβαίνει επειδή τις ημέρες αυτές οι επιφάνειες δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ηλίου.

2.7 Ηλιακή σταθερά

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στην διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, σε απόσταση μιας αστρολογικής μονάδας στο όριο της ατμόσφαιρας.

$$I_{sc'} = 367 \text{ W/m}^2 \text{ [6]}$$

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς

$$I_{sc} = I_{sc'} * (1 + 0.033 * \cos \frac{360 * n}{365})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Φωτοβολταϊκά στοιχεία

3.1 Ημιαγωγοί-Πυρίτιο

3.1.1 ημιαγωγοί

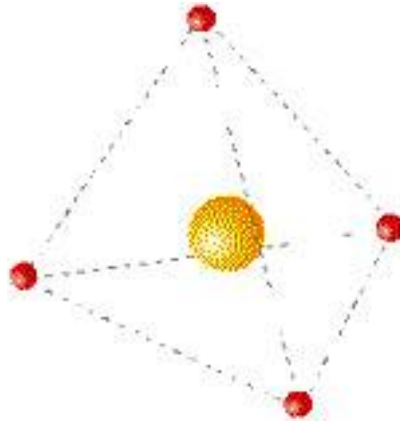
Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη) και των αγωγών (μικρή) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Ο κυριότερος εκπρόσωπος των ημιαγωγών που εμφανίζονται στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο.

3.1.2 πυρίτιο

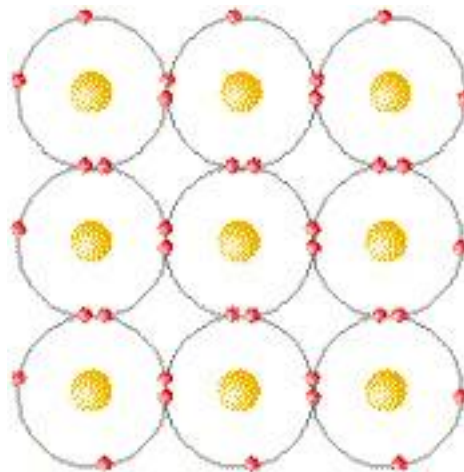
Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και ανήκει στην 14^η ομάδα του περιοδικού πίνακα, αυτό σημαίνει ότι έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα, τα ηλεκτρόνια σθένους. Τα ηλεκτρόνια αυτά είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να μεταφερθούν ή και να μοιραστούν με ένα άλλο άτομο. Όταν πολλά άτομα πυριτίου αλληλοσυνδεθούν μέσω των ηλεκτρονίων σθένους σχηματίζουν ένα κρυσταλλικό πλέγμα δημιουργώντας ένα στερεό. Όταν σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, αυτή μπορεί να ανακλαστεί, να απορροφηθεί ή και να διαπεράσει τον κρύσταλλο.

Στην περίπτωση της απορρόφησης, εάν η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρή τα άτομα του πυριτίου ταλαντώνονται χωρίς να χαλαρώνουν οι δεσμοί τους ενώ τα ηλεκτρόνια τους ανεβαίνουν σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, αποδίδουν την ενέργεια τους αυτή με την μορφή θερμότητας και επιστρέφουν στην κατώτερη ενεργειακή στάθμη όπου βρισκόντουσαν.

Όταν όμως η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετή, τότε ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να χάσει την θέση του στον κρύσταλλο και να μεταβεί στην ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας ένα κενό στην ζώνη σθένους. Το κενό αυτό ονομάζεται οπή και είναι ο δεσμός στην ζώνη σθένους από τον οποίο λείπει ένα ηλεκτρόνιο.



Εικόνα 5 τετραεδρική δομή ατόμου πυριτίου



Εικόνα 6 Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου

3.1.3 φράγμα δυναμικού

Τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών δεν μπορούν να δώσουν ρεύμα. Αυτό συμβαίνει γιατί μετά την μεταπήδηση του ηλεκτρονίου στην ζώνη αγωγιμότητας, οπή και ηλεκτρόνιο ελίσσονται τυχαία και όχι σε μία οργανωμένη κίνηση για λίγο χρονικό διάστημα, αποδίδουν την ενέργεια τους σαν θερμότητα και έπειτα ξαναενώνονται στην ζώνη σθένους. Αυτό που δημιουργεί ρεύμα, δηλαδή οργανωμένη κίνηση ηλεκτρονίων προς μία κατεύθυνση είναι το φράγμα δυναμικού.

Το φράγμα δυναμικού είναι ένας μηχανισμός, που περιέχεται σε κάθε ηλιακό κύτταρο και χωρίζει τα παραγόμενα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών στέλνοντας στην μία πλευρά του κυττάρου περισσότερα ηλεκτρόνια και στην άλλη πλευρά περισσότερες οπές ελαχιστοποιώντας έτσι την

πιθανότητα επανασύνδεσης τους. Ο διαχωρισμός αυτός δημιουργεί μία διαφορά δυναμικού στα άκρα του ηλιακού κυττάρου η οποία είναι δυνατόν να δώσει ρεύμα σε ένα κύκλωμα.

Μπορούμε να αλλάξουμε τις ηλεκτρικές ιδιότητες ενός καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου εισάγοντας μία πρόσμιξη διατηρώντας όμως το κρύσταλλο ηλεκτρικά ουδέτερο. Οι προσμίξεις χωρίζονται σε τύπου-n και τύπου-p. Τύπου-n είναι αυτές που περιέχουν επιπλέον ηλεκτρόνια σθένους και καλούνται δότες, ενώ τύπου-p είναι οι προσμίξεις που περιέχουν επιπλέον οπές και καλούνται δέκτες. Στους δότες οι φορείς πλειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια και οι φορείς μειονότητας είναι οι οπές ενώ στους δέκτες οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές και οι φορείς μειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια.

3.1.4 Επαφή

Επαφή ονομάζεται η εστία δημιουργίας του φράγματος δυναμικού που προκύπτει από την ένωση μιας πρόσμιξης τύπου-p και μιας πρόσμιξης τύπου-n. Όταν λοιπόν δύο τέτοια υλικά έρχονται σε επαφή ελεύθερα ηλεκτρόνια από το υλικό τύπου-n μεταπηδούν στο υλικό τύπου-p και συνδέονται με τις αντίστοιχες ελεύθερες οπές. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Αν n είναι η πυκνότητα των ηλεκτρονίων τότε $\frac{dn}{dx}$ είναι η μονοδιάστατη βάρθρωση της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων. Έτσι δημιουργείται ένα ρεύμα διάχυσης του οποίου η πυκνότητα δίνεται από την σχέση :

$$J_e = q * D_e * \frac{dn}{dx}$$

Όπου $q : 1.6 * 10^{-19} \text{ Cb}$

D_e : η σταθερά διάχυσης των ηλεκτρονίων

n : η πυκνότητα των ηλεκτρονίων

Αντίστοιχα οπές από το υλικό τύπου-p μεταπηδούν στο υλικό τύπου-n και δημιουργούν ένα ρεύμα διάχυσης του οποίου η πυκνότητα δίνεται από την σχέση :

$$J_h = - q * D_h * \frac{dp}{dx}$$

Όπου $q : 1.6 * 10^{-19} \text{ Cb}$

D_h : η σταθερά διάχυσης των οπών

n : η πυκνότητα των οπών

Όταν το κύτταρο δεν φωτίζεται η βασική εξίσωση διόδου-επαφής είναι :

$$I = I_0 * (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

Όπου I : το ρεύμα του κυττάρου

V : η τάση του κυττάρου

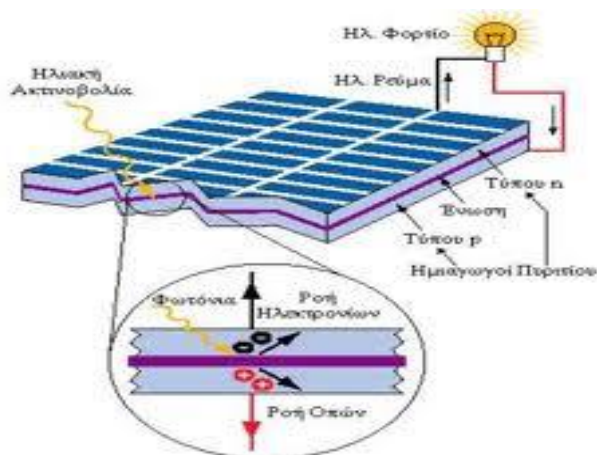
I_0 : το ρεύμα κόρου της διόδου

3.1.5 Ενεργειακό χάσμα

Ενεργειακό χάσμα είναι διαφορά ενέργειας μεταξύ της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας, ουσιαστικά είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να ελευθερωθεί ένα ηλεκτρόνιο. Σε κάθε υλικό η ενέργεια αυτή είναι σταθερή και μετριέται σε eV. Στην περίπτωση του πυριτίου είναι 1.1 eV. Έτσι όταν στο ηλιακό κύτταρο προσπίπτει ηλιακή ενέργεια, φωτόνια με μεγαλύτερη ενέργεια από το ενεργειακό χάσμα δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών. Έστω ότι ένα τέτοιο ζεύγος δημιουργείται σε υλικό τύπου-p. Το ηλεκτρόνιο του ζεύγους έχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο μπορεί να είναι ελεύθερο γιατί υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να ενωθεί με μία από τις οπές. Για τον λόγο αυτό τα ηλιακά κύτταρα σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνουν τις πιθανότητες επανασύνδεσης και να επιτρέπουν στο ηλεκτρόνιο να προλάβει να φτάσει στην περιοχή της επαφής. Επίσης το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να επιστρέψει στο υλικό τύπου-p γιατί θα πρέπει να περάσει το φράγμα δυναμικού. Η οπή του ζεύγους αντίστοιχα παραμένει στο υλικό τύπου-p καθώς απωθείται από το φράγμα της επαφής. Όμοια φαινόμενα εκτυλίσσονται όταν ένα ζεύγος δημιουργείται στο υλικό τύπου-n.

3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο μία ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η διαδικασία αυτή διαχωρισμού των φορτίων που παράγονται σε ένα φωτιζόμενο ηλιακό κύτταρο, δημιουργεί πλεόνασμα αρνητικών φορτίων στο υλικό τύπου-n και θετικών φορτίων στο υλικό τύπου-p. Έτσι, αν συνδέσουμε την πλευρά τύπου-n με την πλευρά τύπου-p του κυττάρου μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος θα έχουμε ροή ρεύματος μέσω του κυκλώματος. Αρνητικά φορτία ρέουν από το ηλεκτρόδιο που βρίσκεται στο υλικό τύπου-n, μέσω του φορτίου (παράγοντας ωφέλιμο έργο στο φορτίο) στο υλικό τύπου-p, όπου επανασυνδέονται με οπές κοντά στο ηλεκτρόδιο.



Εικόνα 7 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η βασική εξίσωση του ηλιακού κυττάρου είναι :

$$I = I_0 * (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) - I_L \quad (2.14)$$

όπου το I_0 δίνεται από την εξίσωση :

$$I_0 = A * \left(\frac{q * D_e * n_i^2}{L_e N_A} + \frac{q * D_n * n_i^2}{L_n N_D} \right)$$

Και το I_L :

$$I_L = q \cdot A \cdot G \cdot (L_e + W + L_n)$$

Όπου

A = διατομή του κυττάρου

$n_i^2 = n = P$ = ενδογενής συγκέντρωση ηλεκτρονίων (οπών) σε καθαρό κρύσταλλο πυριτίου

L_e = μήκος διάχυσης ηλεκτρονίων = $\sqrt{D_e * \tau_e}$

τ_e = διάρκεια ζωής των ηλεκτρονίων σε φορέων μειονότητας, δηλαδή

ο χρόνος μεταξύ της δημιουργίας ενός φορέα σε υλικό που

αποτελεί φορέα μειονότητας και της επανασύνδεσης με φορέα

πλειονότητας.

L_n = μήκος διάχυσης οπών = $\sqrt{D_n * \tau_n}$

τ_n = διάρκεια ζωής οπών σε φορέων μειονότητας

W = εύρος της επαφής (Depletion Region)

G = ρυθμός παραγωγής που για το ηλιακό φως δίνεται από τη σχέση

$$G(x) = \int_0^{\lambda_{max}} (1 - R(\lambda)) * \alpha(\lambda) * N'(\lambda) * e^{-\alpha(\lambda) * x} * d\lambda$$

Όπου:

x = απόσταση από την πάνω επιφάνεια του κυττάρου

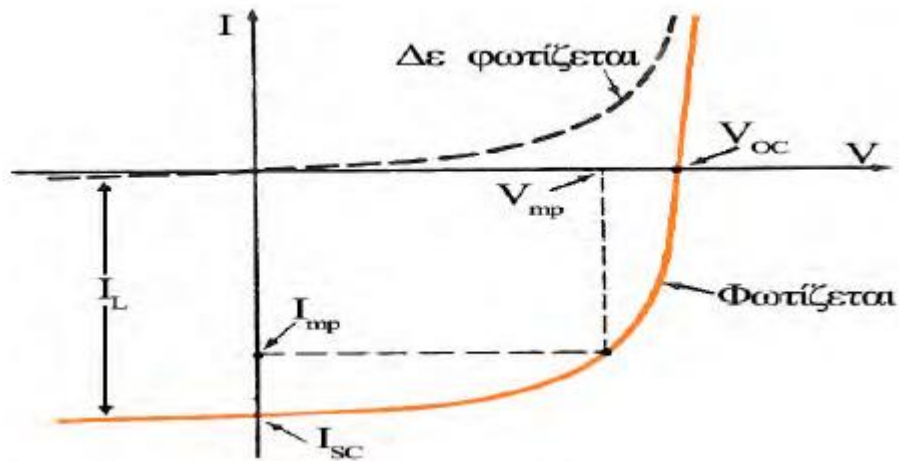
R = συντελεστής ανάκλασης

α = συντελεστής απορρόφησης

N' = προσπίπτουσα ροή φωτονίων ανά μονάδα μήκους κύματος

λ = μήκος κύματος

Η γραφική παράσταση της 2.14 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.10, στο οποίο παρατηρούμε ότι η χαρακτηριστική καμπύλη στην περίπτωση που το κύτταρο φωτίζεται (εξ.2.14), είναι απλώς η χαρακτηριστική καμπύλη όταν το κύτταρο δε φωτίζεται (εξ.2.12) μετατοπισμένη προς τα κάτω κατά I_L . Έτσι προκύπτει μια καμπύλη στο τέταρτο τεταρτημόριο, που σημαίνει παραγωγή ισχύος.



Εικόνα 8 Δίοδος p-n όταν φωτίζεται και όταν όχι

3.3 Ισοδύναμο Κύκλωμα - I-V Χαρακτηριστική

Η βασική εξίσωση του ηλιακού κυττάρου που προέκυψε θεωρητικά δεν αντικατοπτρίζει, με ικανοποιητική ακρίβεια, την πραγματική I-V χαρακτηριστική καμπύλη ενός κυττάρου σε πρακτικούς σκοπούς. Πειραματικές παρατηρήσεις έχουν οδηγήσει στη βελτίωση της εξίσωσης αυτής με τη χρησιμοποίηση τριών πρόσθετων παραμέτρων A , R_S και R_{SH} . Επί πλέον έχει επικρατήσει, για λόγους κυκλωματικής ανάλυσης, η αναπαράσταση της I-V χαρακτηριστικής του κυττάρου να γίνεται στο πρώτο τεταρτημόριο. Οι δύο τελευταίες παρατηρήσεις οδηγούν στην παρακάτω εξίσωση για το ηλιακό κύτταρο:

$$I = I_L - I_0 * \left\{ e^{\left[\frac{q*(V+I*R_S)}{A*K*T} \right]} - 1 \right\} - \frac{V}{R_{SH}}$$

όπου: I = ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου

I_L = φωτόρευμα

I_0 = ρεύμα κόρου διόδου

q = φορτίο ηλεκτρονίου

V = τάση στην έξοδο του κυττάρου

R_S = σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανεμημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό, την επιφανειακή ροή στον ημιαγωγό (συνήθως τύπου $-n$) που βρίσκεται στην πλευρά που προσπίπτει το φως και αποτελείται από πολύ λεπτό στρώμα, την ενδοεπιφάνεια μεταξύ ημιαγωγού-ωμικής επαφής και την ωμική επαφή.

$V+I R_S$ = τάση της διόδου επαφής μέσα στο κύτταρο

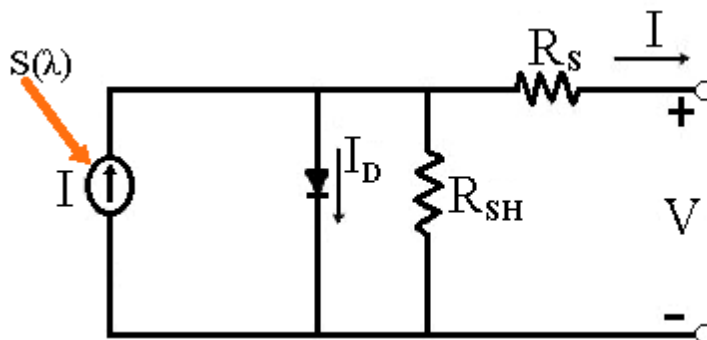
A = σταθερά με τιμές μεταξύ 1 και 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής και τα οποία κατά την παραγωγή της θεωρητικής εξίσωσης παραλήφθηκαν διότι το εύρος W της περιοχής αυτής θεωρήθηκε αμελητέο.

K = σταθερά BOLTZMAN(= $1.38 \cdot 10^{-23}$ Joule/K)

T = απόλυτη θερμοκρασία

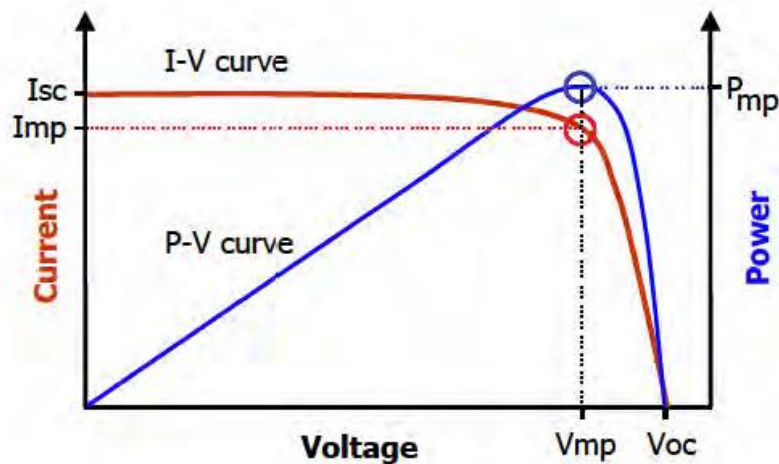
R_{SH} = παράλληλη αντίσταση. Οφείλεται σε διαρροές των φορέων που συμβαίνουν είτε στην επαφή $p-n$ (επανασύνδεση,) είτε στην εξωτερική παράπλευρη επιφάνεια του κυττάρου (επιφανειακή διαρροή), είτε σε άλλες ανωμαλίες του κρυστάλλου και δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την επιφάνεια του κυττάρου ούτε μεταξύ δύο όμοιων κυττάρων.

Το ισοδύναμο κύκλωμα για την παραπάνω εξίσωση είναι :



Εικόνα 9 ισοδύναμο κύκλωμα ηλιακού κυττάρου

Η γραφική παράσταση μεταξύ ρεύματος στην έξοδο και τάσεως στην έξοδο ενός ηλιακού κυττάρου καλείται $I-V$ χαρακτηριστική και έχει επικρατήσει να παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο. Μια τέτοια αντιπροσωπευτική καμπύλη φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, μαζί με την αντίστοιχη $P-V$ χαρακτηριστική



Εικόνα 10 I-V και P-V ηλιακού κυττάρου

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κυττάρου είναι :

Τάση ανοιχτοκυκλώματος V_{op} ,η οποία δίνεται για $I=0$ θεωρήσουμε ότι η παράλληλη αντίσταση R είναι πολύ μεγάλη

$$V_{op} = \frac{A * K * T}{q} * \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{sc} : Είναι το ρεύμα για $V=0$.

Αν θεωρήσουμε την R_S πολύ μικρή, είναι ίσο με το φωτόρευμα

Το σημείο μέγιστης ισχύος εξόδου P_{mp} : Στο σημείο αυτό αντιστοιχεί ρεύμα I_{mp} και τάση V_{mp} . Βρίσκεται στο σημείο εκείνο, από το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με τη μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στην I-V καμπύλη και αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγωγή ισχύος από το ηλιακό κύτταρο.

Ο συντελεστής πληρώσεως FF (Fill Factor) , που είναι ένα μέτρο για το πόσο τετράγωνη είναι η καμπύλη I-V. Ορίζεται από την σχέση :

$$FF = \frac{V_{MP} * I_{MP}}{V_{OC} * I_{SC}}$$

Τυπικές τιμές βρίσκονται μεταξύ 0.7 και 0.85. Είναι συνάρτηση μόνο της τάσης V_{oc} και αν ορίσουμε μία κανονικοποιημένη τάση $U_{oc} = V_{oc} / (A \cdot K \cdot T/q)$, η ιδανική (μέγιστη) τιμή του δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$FF_{opt} = \frac{U_{oc} - \ln(U_{oc} + 0.72)}{U_{oc} + 1} \quad \text{Για } U_{oc} > 10$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι η I-V καμπύλη εξαρτάται τόσο από τη ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (W/m^2) όσο και από τη θερμοκρασία ($^{\circ}C$).

Ένταση ακτινοβολίας: Όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του κυττάρου και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας), μεταβάλλεται και η I-V χαρακτηριστική του κυττάρου και μάλιστα η απόκριση είναι πολύ γρήγορη (σταθερά χρόνου της τάξεως των μsec). Για τους περισσότερους τύπους ηλιακών κυττάρων, που έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία σε ένταση ακτινοβολίας μίας περίπου ηλιακής σταθεράς, η μορφή της I-V καμπύλης δε μεταβάλλεται ουσιαστικά με την ένταση στην περιοχή 0.5-2 ηλιακές σταθερές, το ρεύμα I_{sc} πρακτικά μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση, η τάση V_{oc} μεταβάλλεται λιγότερο (λογαριθμική εξάρτηση), ενώ η R_S παραμένει σχεδόν σταθερή.

Θερμοκρασία: Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του κυττάρου προκαλούνται οι εξής μεταβολές στις παραμέτρους της I-V χαρακτηριστικής.

- Το ρεύμα I_{sc} αυξάνεται ελαφρά (εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της ακτινοβολίας). Η αύξηση οφείλεται σε μεταβολή της δυνατότητας συλλογής των φορέων, αφού με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το ενεργειακό χάσμα.
- Η τάση V_{oc} μειώνεται. Αυτό οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου.
- Η ισχύς P_{mp} μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης (το γόνατο τη καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας)

Κατόπιν των ανωτέρω, ένα ηλιακό κύτταρο συνηθίζεται να χαρακτηρίζεται από την ισχύ εξόδου του σε μία προκαθορισμένη θερμοκρασία (συνήθως $25^{\circ}C$) και ακτινοβολία $1000 W/m^2$. Έτσι, το μέγεθος μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνήθως χαρακτηρίζεται από τα "Watt αιχμής" (Watt Peak, W_p) που μπορεί να παράγει.

3.4 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών κυττάρων

3.4.1 Ορισμός βαθμού απόδοσης

Βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{mmp} προς το γινόμενο της

επιφάνειας A του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της έντασης ακτινοβολίας G

$$n = \frac{P_{mmp}}{A * G} = \frac{V_{mmp} I_{mmp}}{A * G} = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{A * G}$$

Και είναι πάντα μικρότερη ή ίση της θεωρητικής μέγιστης απόδοσης

$$n_{max} = \frac{\Phi(E_g) * V_m}{\Phi E_\mu}$$

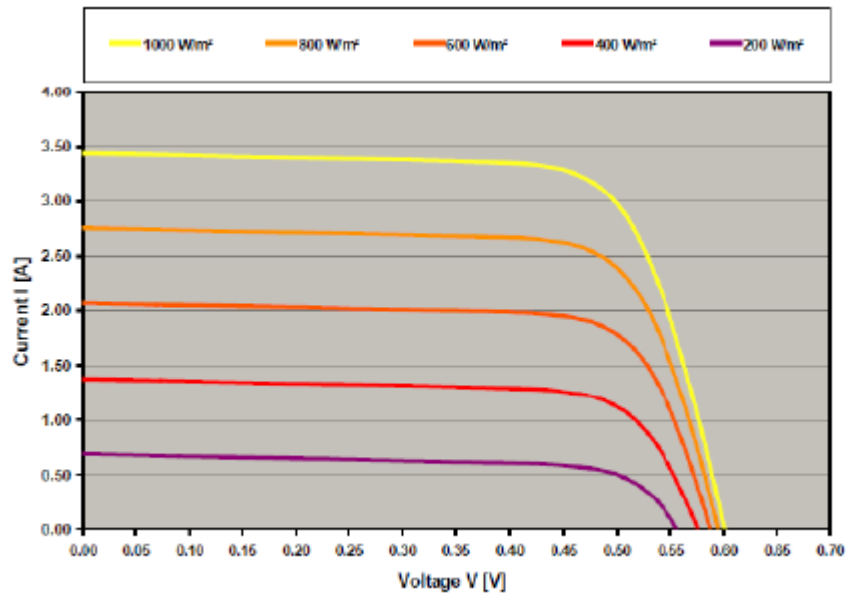
όπου $\Phi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, Φ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και E_μ είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου βρίσκεται στην περιοχή 12% μέχρι 15%. Σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχθεί και μεγαλύτερες τιμές.

3.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Γενικά ο βαθμός απόδοσης σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται και επηρεάζεται από κάποιους εσωτερικούς ή εξωτερικούς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες είναι οι παρακάτω

Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, Η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του στοιχείου ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του στοιχείου και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες στοιχείου.

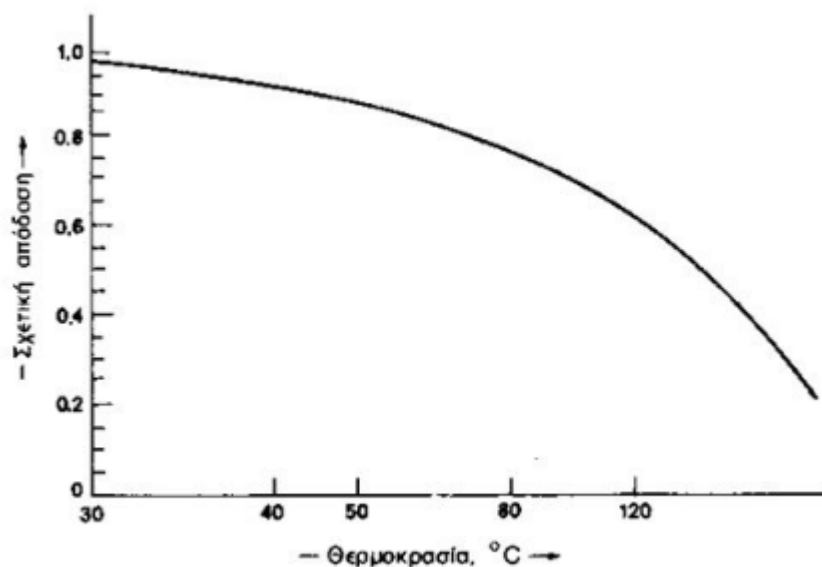


Εικόνα 11 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην χαρακτηριστική I-V

Θερμοκρασία Συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF. Παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Πιο συγκεκριμένα αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε μια δεδομένη θερμοκρασία (π.χ. 25°C) είναι n , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία (θ) θα είναι

$$n_{\theta} = n * \sigma_{\theta}$$

Με σ_{θ} να ορίζεται ως ο συντελεστής θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Για κάθε έναν βαθμό $^{\circ}\text{C}$ που αυξάνεται η θερμοκρασία ο συντελεστής σ_{θ} μειώνεται περίπου 0.005. Η τιμή του στην θερμοκρασία αναφοράς είναι 1. [7]



Εικόνα 12 Απόδοση συνάρτηση της θερμοκρασίας

Σκίαση Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κελιού ή συστήματος είναι η σκίαση. Αυτή μπορεί να είναι από φυσικά εμπόδια όπως δέντρα και στύλοι ή από παροδικά φαινόμενα όπως σύννεφα. Η σκίαση δημιουργεί την μερική ή και ολική απώλεια φωτορεύματος. Στην περίπτωση αυτή αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου hot-spot το οποίο θα μελετηθεί παρακάτω.

Ανάκλαση: Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα ή/και επίστρωση με αντανάκλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.

Αντίσταση: Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της R_s όσο και της R_{SH} τείνουν να ελαττώσουν τον συντελεστή FF, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα I_{SC} , V_{OC} με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης. Ωστόσο, ο καθορισμός της R_s έχει μεγαλύτερη σημασία για τις I-V και P-V σε σχέση με την R_{SH} .

Άνεμος : Η ταχύτητα του ανέμου και ο προσανατολισμός του μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου-συστήματος. Μεγάλες ταχύτητες έχουν σαν αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας. Επίσης οι βόρειοι άνεμοι είναι συνήθως πιο κρύοι με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες απ' ότι θα λειτουργούσαν στην άπνοια.

Οπτικές απώλειες Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοούμε τη διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανακλαστικό επίστρωμα, υλικό φωτοβολταϊκών στοιχείων) σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC (Standard Testing Conditions). Η ανακλαστικότητα του οπτικού συστήματος όψεως του φωτοβολταϊκού πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς, αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 60°. Επίσης, οπτικές απώλειες έχουμε και με τη διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας. Καθώς το A.M=1.5 ηλιακό φάσμα που καθορίζεται από τις STC, χρησιμοποιείται ως αναφορά για τις προδιαγραφές απόδοσης των πλαισίων, η ετήσια παραγωγή του πλαισίου θεωρείται σχετικά ανεξάρτητη από τις μεταβολές του ηλιακού φάσματος γιατί οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξαλείφονται κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση. Αυτά όσον αφορά φωτοβολταϊκά ευρείας φασματικής περιοχής. Για φωτοβολταϊκά στενής φασματικής περιοχής οι ετήσιες απώλειες είναι σημαντικότερες.

Επιπλέον, υπάρχουν απώλειες λόγω διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται γύρω στο 2%. Τέλος, οπτικές απώλειες παρατηρούνται και λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του ηλιακού στοιχείου μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των 200 W/m². Οι οπτικές απώλειες, αποδεικνύονται μικρής σημασίας για εμπορικά πλαίσια καλής ποιότητας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σχετικά σημαντικές και γενικά υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος [8]

Γήρανση Αφορά στη μείωση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων στο χρόνο της ζωής τους και εκφράζεται, συνήθως, με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του Φ/Β, άρα και της ισχύος αιχμής του. Στο κρυσταλλικό πυρίτιο εμφανίζονται αλλοιώσεις στη δομή του υλικού των κρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων του πλαισίου, που οφείλονται σε διάφορα αίτια, κυρίως σε υπερθέρμανση. Μετρήσεις μακράς διάρκειας μας δίδουν μείωση της αποδοτικότητας του κάτω από πρότυπες συνθήκες STC, ~1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης) .([7]). Οι κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητας τους μετά την πάροδο 25ετίας.

Ρύπανση . Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδιαίτερα όταν αυτά έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων αλατιού από την θάλασσα, εντόμων κ.α. Η μείωση είναι εντονότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, λόγω της Αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στις γυάλινες ή πλαστικές επιφάνειες των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει επαρκώς. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, τα πλαίσια τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κατακόρυφα) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45° για να μη συγκρατείται σκόνη.

Σε περιοχές που ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς για την απόδοση της εγκατάστασης η αντίστοιχη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που οφείλεται στην ρύπανση. Αυτό γίνεται μέσω ενός συντελεστή που

ονομάζεται συντελεστής καθαρότητας σ_p και ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το "βρώμικο" φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ισχύ που παράγει το ίδιο φωτοβολταϊκό πλαίσιο όταν η επιφάνεια του είναι εντελώς καθαρή. Ο συντελεστής καθαρότητας ισούται με την μονάδα σε περίπτωση απόλυτης καθαρότητας και μικραίνει όσο αυξάνονται η ρύπανση, η κλίση, οι χιονοπτώσεις κλπ.



Εικόνα 13 Καθαρισμός ηλιακών πλαισίων

3.5 Συστοιχίες κυττάρων

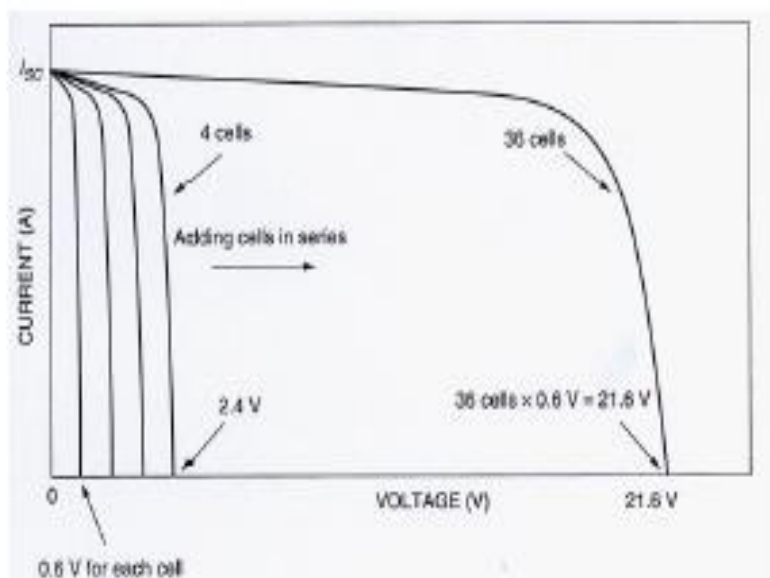
Υπάρχουν διάφορα κατασκευαστικά στάδια ομαδοποίησης κυττάρων. Τη μικρότερη δομική μονάδα ομαδοποιημένων κυττάρων αποτελεί το πλαίσιο, που είναι ένα σύνολο κυττάρων, ηλεκτρικών συνδέσεων κ.λ.π. κατάλληλα συσκευασμένων ώστε να προστατεύονται από το περιβάλλον, που δίνει κάποια DC ισχύ όταν προσπίπτει σε αυτό ηλιακό φως. Ακολουθεί το πάνελ (panel) το οποίο είναι ένα σύνολο από δύο ή περισσότερα πλαίσια συνδεδεμένα μεταξύ τους τόσο από μηχανική όσο και από ηλεκτρική άποψη, που δίνουν μία μονάδα έτοιμη για εγκατάσταση. Τέλος, η συστοιχία (array) είναι ένα μηχανικά ολοκληρωμένο σύνολο από panels μαζί με την κατασκευή στήριξης και ό,τι άλλο είναι απαραίτητο για να αποτελέσει μία ανεξάρτητη μονάδα Φ/Β παραγωγής ισχύος.

Είναι γνωστό ότι υπό ιδανικές συνθήκες δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές τάσης σε σειρά προστίθενται, ενώ δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές ρεύματος παράλληλα προστίθενται. Έτσι, μόνο για ηλιακά κύτταρα με ακριβώς ίδια χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που παίρνουμε από μία συστοιχία κυττάρων θα ισούται με το άθροισμα των μεγίστων ισχύων που παίρνουμε χωριστά από κάθε κύτταρο της συστοιχίας.

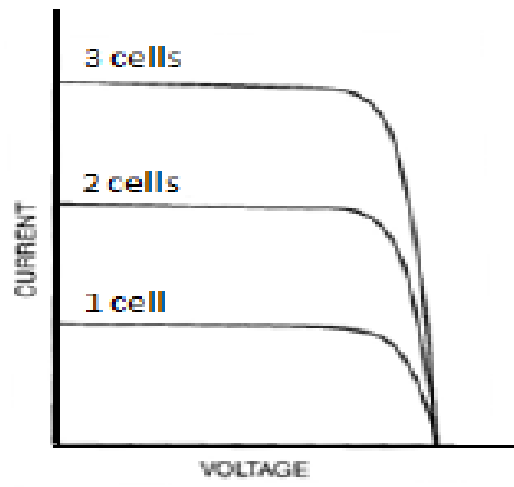
Με βάση τα παραπάνω προκύπτει πως εάν η κύτταρα συνδεθούν σε σειρά, η ισχύς εξόδου θα είναι η ίδια με την ισχύ που θα πάρουμε εάν αυτά συνδεθούν παράλληλα. Στην πρώτη περίπτωση το ρεύμα της αλυσίδας ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ενός κυττάρου, αφού όλα τα κύτταρα της αλυσίδας διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, όμως η τάση εξόδου θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των κυττάρων που αποτελούν την αλυσίδα.

Συνεπώς η ισχύς εξόδου θα είναι $P_{\text{σειρ.}} = I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{σειρ.}} = I_{\text{SC}} \cdot n \cdot V_{\text{OUT}} = n \cdot I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OUT}}$. Στη δεύτερη περίπτωση όλα τα κύτταρα θα βρίσκονται υπό τάση V_{OUT} , εφ' όσον θα είναι συνδεδεμένα παράλληλα, το συνολικό ρεύμα όμως θα ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων του καθενός κυττάρου (Σχήμα 2.21). Έτσι η ισχύς εξόδου θα είναι: $P_{\text{παρ.}} = V_{\text{παρ.}} \cdot I_{\text{OUT}} = V_{\text{OUT}} \cdot n \cdot I_{\text{SC}} = n \cdot I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OUT}}$.

Η ισχύς εξόδου λοιπόν είναι η ίδια.



Εικόνα 14 Ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά



Εικόνα 15 Ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα παράλληλα

3.6 Το φαινόμενο hot-spot

Το Φαινόμενο αυτό οφείλεται στην μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών ενός ή περισσότερων κυττάρων με τα υπόλοιπα. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε κατασκευαστικούς λόγους κατά την μαζική παραγωγή είτε να προέκυψαν κατά την λειτουργία τους.

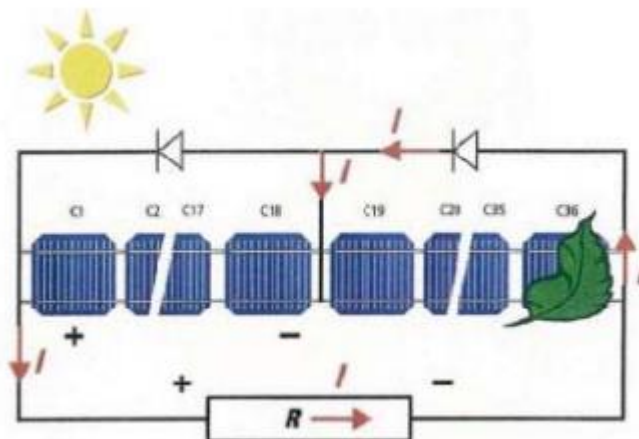
Ο κυριότερος λόγος εμφάνισης του φαινομένου είναι η μερική ή ολική σκίαση ενός ή περισσότερων κυττάρων που μπορεί να οφείλεται σε εμπόδια, σύννεφα κ.α. Άλλη αιτία είναι η θραύση ενός ή περισσότερων κυττάρων και μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική διαστολή μεταξύ του κυττάρου και του υλικού πάνω στο οποίο στηρίζεται, σε χαλάζι ή σε ελαττωμένη αντοχή που προέκυψε κατά τη διάρκεια της κατασκευής του ή της ενσωμάτωσής του στο πλαίσιο.

Το φαινόμενο hot spot λαμβάνει χώρα όταν ένα (ή περισσότερα) ηλιακό κύτταρο ενός πλαισίου παράγει μικρότερο ρεύμα από το ρεύμα της αλυσίδας στην οποία βρίσκεται. Όταν π.χ. μία αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί, τα καλά κύτταρα προσπαθούν να επιβάλλουν στο χειρότερο από άποψη χαρακτηριστικών ή σκιασμένο κύτταρο μεγαλύτερο ρεύμα απ' ότι αυτό μπορεί να δώσει.

34

Τότε, το ελαττωματικό κύτταρο (ή κύτταρα) πολώνεται ανάστροφα με αποτέλεσμα να η τάση στα άκρα του να είναι ίση και αντίθετη με το άθροισμα των τάσεων των υπολοίπων κυττάρων της αλυσίδας, σύμφωνα με τον κανόνα τάσεων του Kirchhoff.

Όταν το ελαττωματικό κύτταρο πολωθεί ανάστροφα λειτουργεί σα μία δίοδος, και αυτή ανάστροφα πολωμένη, και αντί να παράγει, καταναλώνει ισχύ. Η ισχύς που καταναλώνεται στο ελαττωματικό-σκιασμένο κύτταρο είναι ίση με αυτήν που μπορούν να παράγουν τα υπόλοιπα κύτταρα της αλυσίδας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά στο ελαττωματικό κύτταρο με πιθανό αποτέλεσμα τη θραύση του πλαισίου ή ακόμα και την πλήρη καταστροφή του.



Εικόνα 16 σκιασμένο κύτταρο με δίοδο παράκαμψης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Ο συνδυασμός πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα από μόνα τους έχουν χαμηλές τιμές τάσης και ισχύος και έτσι δεν μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις των συνηθισμένων καταναλώσεων, έτσι συνδέονται σε διατάξεις πολλών κυττάρων που αποτελούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Δύο ή περισσότερα πλαίσια συνδεδεμένα μαζί αποτελούν ένα πάνελ. Τα πλαίσια ταξινομούνται ανάλογα με την ισχύ που μετράται σε W_p (Watt peak) και είναι η ισχύς που αποδίδει μία επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου όταν δέχεται ακτινοβολία $1000W/m^2$ σε θερμοκρασία $25\text{ }^\circ C$ και $AM=1,5$. Οι κατηγορίες που προκύπτουν αν διαχωρίσουμε τα πλαίσια ανάλογα με το υλικό κατασκευής είναι οι εξής :

4.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Το βασικό ημιαγωγικό υλικό παραγωγής τους είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο. 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%. Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φτηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε καθώς και μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 17 πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

4.1.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 18 πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

4.1.3 Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου είναι οι παρακάτω

4.1.3.1 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός με προσθήκη γάλλιου

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



Εικόνα 19 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός

4.1.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για αυτό το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει

ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.



Εικόνα 20 Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου

4.1.3.3 Τελουριούχο Κάδμιο

Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του τελούριου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, κατάλληλο για ενσωμάτωση στα κτίρια.



Εικόνα 21 Πλαίσιο τελουριούχου κάδμιου

4.1.3.4 Αρσενικούχο Γάλλιο

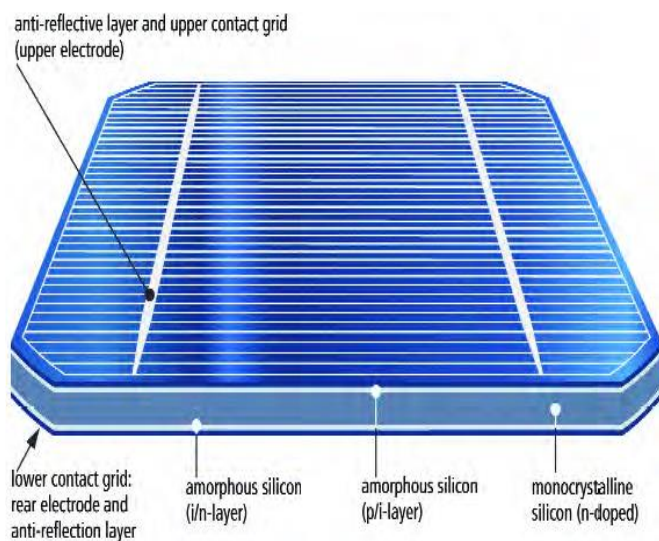
Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση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



Εικόνα 22 φωτοβολταϊκό στοιχείο αρσενικούχου γάλλιου

4.1.4 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών HIT (Heterojunction with Intrinsic Thinlayer– Ετεροενώσεις με ενδογενή λεπτά στρώματα). Τα πιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού τα φωτοβολταϊκά αυτά έχουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.



Εικόνα 23 πολυστρωματικό φωτοβολταϊκό στοιχείο 1

4.1.5 Οργανικά πολυμερή κελιά

Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγωγίμες p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.

4.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ (INVERTER DC-AC)

Ο inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς τάσης και κατανάλωση εναλλασσόμενης. Πρακτικά, ο μετατροπέας του κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι ο «εγκέφαλος» της εγκατάστασης, αφού μπορεί να «εκμεταλλεύεται» το ρεύμα που παράγεται από τα panels, είτε πρόκειται για αυτόνομο είτε για διασυνδεδεμένο σύστημα. Δημιουργεί σειρά τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων. Μια βελτιωμένη έκδοση inverter είναι αυτή του οποίου η τάση εξόδου είναι ένα διαμορφωμένο ημίτονο.

Γενικά η απόδοση των inverter είναι αρκετά υψηλή (93%-99%). Απαιτείται υψηλή απόδοση όχι μόνο όταν τροφοδοτεί πλήρες φορτίο αλλά και όταν το φορτίο είναι μειωμένο. Η λειτουργία του συνοδεύεται από μεγάλο πλήθος παραγωγή αρμονικών υψηλών συχνοτήτων, οι οποίες περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.

Ο αντιστροφέας σε κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα πρέπει να καλύπτει κάποιες προδιαγραφές οι οποίες έχουν θεσμοθετηθεί από την αρμόδια υπηρεσία ηλεκτρισμού της χώρας στην οποία θα κατασκευαστεί η εγκατάσταση. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν την τάση και την συχνότητα καθώς και την συνολική αρμονική παραμόρφωση.

Οι αντιστροφείς χωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Για μεγέθη έως 5KWp χρησιμοποιούνται μονοφασικοί μετατροπείς ενώ για μεγέθη μεγαλύτερα των 5KWp χρησιμοποιούνται τριφασικοί. Επίσης οι αντιστροφείς χωρίζονται σε αυτούς που χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση ανάμεσα στην DC είσοδο και στην AC έξοδο και σε αυτούς που δεν χρησιμοποιούν. Τέλος, οι αντιστροφείς χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην εγκατάσταση σε Κεντρικούς αντιστροφείς, Αντιστροφείς κλάδων, αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων και αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε φωτοβολταϊκά πάνελ.

4.2.1 ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΤΡΟΦΕΑ

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφέα είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς η οποία συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50Hz, ή για υψηλότερη συχνότητα (της τάξης των 10-15kHz) για μικρότερη ισχύ. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Αντιθέτως οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται από πιο εξειδικευμένη κατασκευή. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή, πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2-4%. Ωστόσο είναι πιθανόν και οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή να εμφανίζουν αυξημένες απώλειες αν χρησιμοποιούνται μετατροπείς ανύψωσης της DC τάσης των Φ/Β πάνελ (DC/DC μετατροπείς ανύψωσης). Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής

απομόνωσης στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, επιβάλλεται η χρήση αντιστροφέων με μετασχηματιστή. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή των πάνελ άμορφου πυριτίου όπου υποχρεωτικά συνδέονται σε αντιστροφείς με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Μία σύγκριση των δύο οικογενειών αντιστροφέων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

	Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless-TL)
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> - Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες - Ευρεία χρήση - Κυρίως χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος 	<ul style="list-style-type: none"> - Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτος της τάσης δικτύου, ή να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Ασφάλεια - Πολλά χρόνια λειτουργίας - Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς - Μικρότερος όγκος και βάρος
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές) - Αυξημένος όγκος και βάρος 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφάλειας - Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες - Μεταβολές του σημείου λειτουργίας

4.2.2 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ

4.2.2.1 ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΑΝΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (*central inverter*)

Οι κεντρικοί αντιστροφείς αποτελούν το είδος των αντιστροφέων που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε επίπεδα ισχύος των εκατοντάδων kW οι αντιστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ.

Οι κεντρικοί μετατροπείς χαρακτηρίζονται από το μικρό αριθμό εισόδων DC (συνήθως 1-2 εισόδους). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ τα οποία πρέπει να συνδεθούν στην είσοδο τους, επιβάλλει την εκτεταμένη χρήση DC καλωδίων σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες αντιστροφέων όπου η καλωδίωση μπορεί να γίνει με AC.

4.2.2.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΚΛΑΔΩΝ Η ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΩΝ (*string inverter*)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αντιστροφέων σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8).

Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Επιπλέον είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ.

4.2.2.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΛΑΔΩΝ Η ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΩΝ (multi-string inverter)

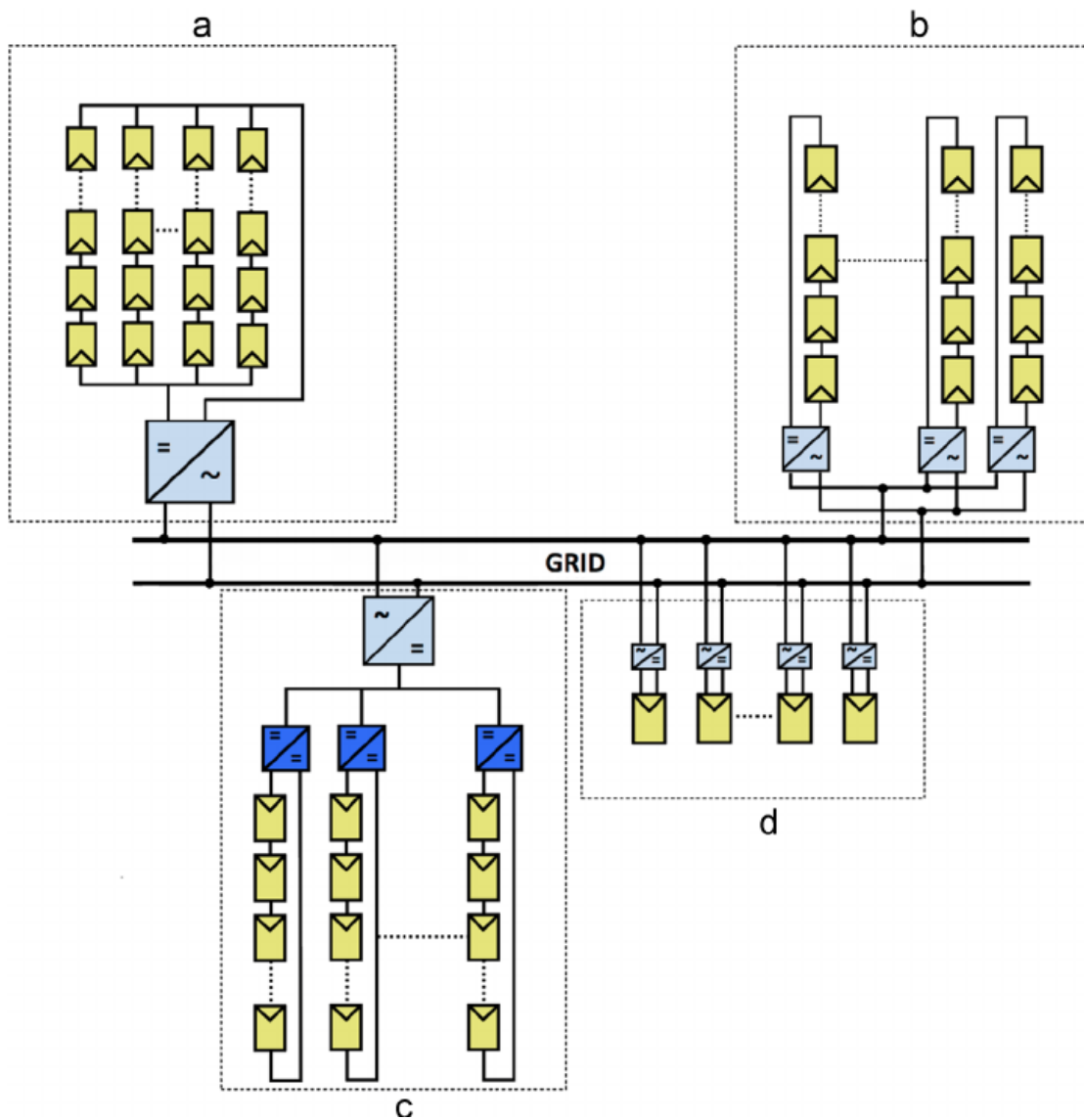
Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.

Οι αντιστροφείς αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης.

Λόγω του ειδικού χαρακτήρα της χρήσης τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi string είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό τι σε συμβατικούς string inverters.

4.2.2.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ (micro inverter)

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.



Εικόνα 24 central,string, multi string και micro inverter

4.2.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

4.2.3.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Ο (συνολικός) βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου, δηλαδή:

$$\eta(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές

απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.

Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής : απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp το έτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειών σε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εσόδων της τάξης των 585€/έτος

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, θεωρώντας ίδιο ποσό φόρτισης του αντιστροφέα, είναι η ύπαρξη ή μη μετασχηματιστή απομόνωσης. Όπως αναφέρθηκε στην αγορά υπάρχουν οι τεχνολογίες αντιστροφέν με μετασχηματιστή ή χωρίς. Τυπικές τιμές απόδοσης αντιστροφέν με μετασχηματιστή είναι της τάξης του 92-94% με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF) και 94-96% με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (HF). Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 96-98,5%.

Οι παραπάνω τιμές απόδοσης αναφέρονται στον καταγραφόμενο μέγιστο βαθμό απόδοσης (maximum efficiency). Η τιμή αυτή αναγράφεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Ζητούμενο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. 3ς βαθμός φόρτισης νοείται το ισχύς εξόδου (ο ακριβής προσδιορισμός εξαρτάται από τον κατασκευαστή).

Ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφέν εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση αντιστροφέν σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για υπέρ-διαστασιολογημένους αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφείς που εμφανίζονται υπό-διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται. Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή trackers) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$n_E = 0.03n_{5\%} + 0.06n_{10\%} + 0.13n_{20\%} + 0.1n_{30\%} + 0.48n_{50\%} + 0.2n_{100\%}$$

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

4.2.3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

Η παρακολούθηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση-ρεύμα)των Φ/Β πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείου που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισχύς ενός Φ/Β πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance, G) και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (Maximum Power Point, MPP) στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ίση προς $G=1000\text{W/m}^2$, και θερμοκρασία πάνελ ίση προς 25 βαθμούς Κελσίου. Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο κάθε αντιστροφέας να διαθέτει διατάξεις οι οποίες παρακολουθούν συνεχώς το σημείο λειτουργίας των πάνελ και το μεταβάλλουν, ώστε να αντιστοιχεί κάθε φορά στο σημείο της μέγιστης ισχύος. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι MPPT. Ένας απλός και διαδεδομένος αλγόριθμος είναι αυτός της μεθόδου P&O (perturbation and observe, διαταραχή και παρατήρηση). Στον αλγόριθμο αυτό το σημείο λειτουργίας μεταβάλλεται ελαφρά και παρατηρείται η μεταβολή στην ισχύ: αν η μεταβολή οδηγεί σε αύξηση της ισχύος (θετική παράγωγος), τότε επιβάλλεται νέα μεταβολή, έως το σημείο που η μεταβολή της ισχύος οδηγήσει σε μείωση ισχύος (αρνητική παράγωγος). Τότε το τελικό σημείο λειτουργίας ταλαντώνεται μεταξύ αυτών των δύο σημείων θετικής και αρνητικής παραγωγού, που αντιστοιχεί σε μέγιστο. Τα τεχνικά φυλλάδια των αντιστροφέων αναφέρονται στο εύρος της DC τάσης εισόδου στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της μέγιστης ισχύος. Είναι υποχρέωση του μελετητή να εξασφαλίζει ότι σε όλο το δυνατό εύρος λειτουργίας, η DC τάση των Φ/Β πάνελ κείται εντός των ορίων ελέγχου μέγιστης τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα.

Επίσης, συχνά τα φυλλάδια των κατασκευαστών αναφέρονται στο βαθμό απόδοσης της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT efficiency). Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που λαμβάνει ο αντιστροφέας από τα Φ/Β πάνελ προς το (θεωρητικό) ποσό της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να λάβει για μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_{DC}(t)dt}{\int_0^t P_{AC}(t)dt}$$

4.2.3.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία (δηλαδή αυτή του δικτύου της ΔΕΗ). Στην περίπτωση αυτή, ο φωτοβολταϊκός σταθμός λειτουργεί ως νησίδα παραγωγής ενέργειας και αν οι αντιστροφείς παραμένουν συνδεδεμένοι ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή και για τον ίδιο τον εξοπλισμό από μεταβατικά φαινόμενα κατά την αυτόματη ή χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου. Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αντιστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public lowvoltagegrid) η συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική. Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανα-συνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η ΔΕΗ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αντιστροφέων. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρίσης του σταθμού και την παραλαβή του.

4.2.3.4 ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Η αρμονική παραμόρφωση του παραγόμενου ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος συνδέονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης προς το δίκτυο ισχύος. Ιδανικά, η ισχύς θα πρέπει να μεταφέρεται με συντελεστή ισχύος ίσο προς τη μονάδα, ώστε η άεργος ισχύς του σταθμού να είναι μηδενική και επιπλέον οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος θα πρέπει να είναι σχεδόν ημιτονοειδούς μορφής, ώστε να μην εγχέονται ανεπιθύμητες αρμονικές στο δίκτυο της ΔΕΗ. Ως μέτρο της ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του χρησιμοποιείται ο ευρέως διαδεδομένος δείκτης της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης περισσότερο γνωστός ως THD, από τα αρχικά των λέξεων Total Harmonic Distortion. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}$$

Όπου I_n , $n=2,3,4...$ είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης n (δηλαδή συχνότητας $50 \times n$) και I_1 , είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1, δηλαδή της θεμελιώδους των 50Hz.

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για μία αμιγώς ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής THD είναι ίσος με το μηδέν ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή. Ο παραπάνω ορισμός έχει το μειονέκτημα ότι δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση της συχνότητας της κάθε αρμονικής, παραμένει ωστόσο ένα διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης για την παρουσία αρμονικών. Ο συντελεστής THD του ρεύματος που παράγεται από έναν αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων προσδιορίζεται στο πρότυπο IEC

61000-3-2. Θεωρώντας το φάσμα αρμονικών έως την αρμονική τάξης 49, ο συντελεστής THD του ρεύματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 5%. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής των διακοπών ηλεκτρονικών ισχύος (τεχνολογίας IGBT) που χρησιμοποιούνται στις γέφυρες του αντιστροφέα και της χρησιμοποίησης της τεχνικής διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) οι κυριότερες αρμονικές εμφανίζονται σε πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής, σε τάξεις συνήθως μεγαλύτερες από την τάξη 50. Η AC ισχύς για την οποία πρέπει να ισχύει η προδιαγραφή της αρμονικής παραμόρφωσης δεν αναφέρεται και έτσι συνήθως νοείται η ονομαστική ισχύς. Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά σε φορτία πολύ μικρότερα του ονομαστικού. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά τη μεταβολή του THD και του συντελεστή ισχύος με το φορτίο του αντιστροφέα, όπου φαίνεται ότι η συντελεστής THD είναι κάτω από 5% στο 50% του φορτίου και πάνω. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σχεδόν ίσος προς τη μονάδα (>0,999) για φορτία του αντιστροφέα από 20% και πάνω.

4.2.3.5 ΕΓΧΥΣΗ DC ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Μία σημαντική προδιαγραφή που τίθεται για τους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο είναι αυτή της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο, γεγονός που σχετίζεται και με την ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου. Το δυσμενές αποτέλεσμα της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο είναι η μεταβολή του σημείου λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου προς τον κορεσμό, το οποίο οδηγεί σε υψηλό ρεύμα πρωτεύοντος το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει μέσα προστασίας. Επιπλέον επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ζωής και ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών, ενώ καταπονούνται επίσης και οι καλωδιώσεις.

Το θέμα της έγχυσης DC ρεύματος αποκτά σημασία σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (50Hz) πετυχαίνουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ της DC και της AC πλευράς και έτσι αποφεύγεται η έγχυση DC ρεύματος. Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, όπου το πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρονικό έλεγχο. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης σε υψηλή συχνότητα, αποτελούν μία ενδιάμεση κατάσταση στο βαθμό που επηρεάζεται ο τύπος του μέσου προστασίας που χρησιμοποιείται για έμμεσες επαφές στην DC πλευρά.

Σήμερα για τη σύνδεση ενός Φ/Β πάρκου η ΔΕΗ θέτει ως απαραίτητο όρο η έγχυση DC να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος και πρέπει να προσκομιστούν τα ανάλογα πιστοποιητικά.

4.2.3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ ΑΝΤΣΤΡΟΦΕΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΙΣΧΥΟΣ

Η διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική ισχύ και την ισχύ λειτουργίας από τα Φ/Β πάνελ προϋποθέτει ότι οι αντιστροφείς θα πρέπει να προστατευτούν από τη λειτουργία υπερφόρτισης, για παράδειγμα όταν η ισχύς που παράγεται από τα Φ/Β πάνελ είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη DC εισόδου του αντιστροφέα. Στην περίπτωση αυτή οι εσωτερικοί αλγόριθμοι ελέγχου μετατοπίζουν το σημείο λειτουργίας από το μέγιστο (MPP) ώστε να προστατευτεί ο αντιστροφέας από υπερθέρμανση. Δυστυχώς, στην περίπτωση αυτή η επιπλέον αυτή ενέργεια των Φ/Β πάνελ δεν αξιοποιείται. Υπάρχουν επίσης αντιστροφείς στους οποίους δεν εκτελείται η παραπάνω διαδικασία, αλλά απλά ο αντιστροφέας σταματά τη λειτουργία του και προσπαθεί να επανασυνδεθεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση των αντιστροφέων και να ληφθεί υπόψη μία μέση εκτίμηση της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ.

Το θέμα αυτό είναι σημαντικότερο σε Φ/Β πάρκα με trackers καθώς εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη παραγωγή ενέργειας που επιφέρει τη λειτουργία αντιστροφών σε υψηλότερα φορτία απ' ότι για παράδειγμα σε συστήματα σταθερών βάσεων.

4.2.3.7 ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ

Άλλα χαρακτηριστικά των αντιστροφών είναι ο βαθμός προστασίας (IP class), σύμφωνα με τον οποίο κρίνεται το αν θα τοποθετηθεί σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο ο αντιστροφέας και αν θα αερίζεται από κλιματισμό, και τα συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των δεδομένων και την επικοινωνία ώστε να είναι δυνατή η τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β σταθμού. [9]

4.3 ΒΑΣΕΙΣ

Οι βάσεις στήριξης μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις σταθερές κλίσης και αυτές που παρακολουθούν την πορεία του ήλιου.

4.3.1 ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΛΙΣΗΣ

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει η κλίση των πλαισίων θα πρέπει να ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής της εγκατάστασης. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες.

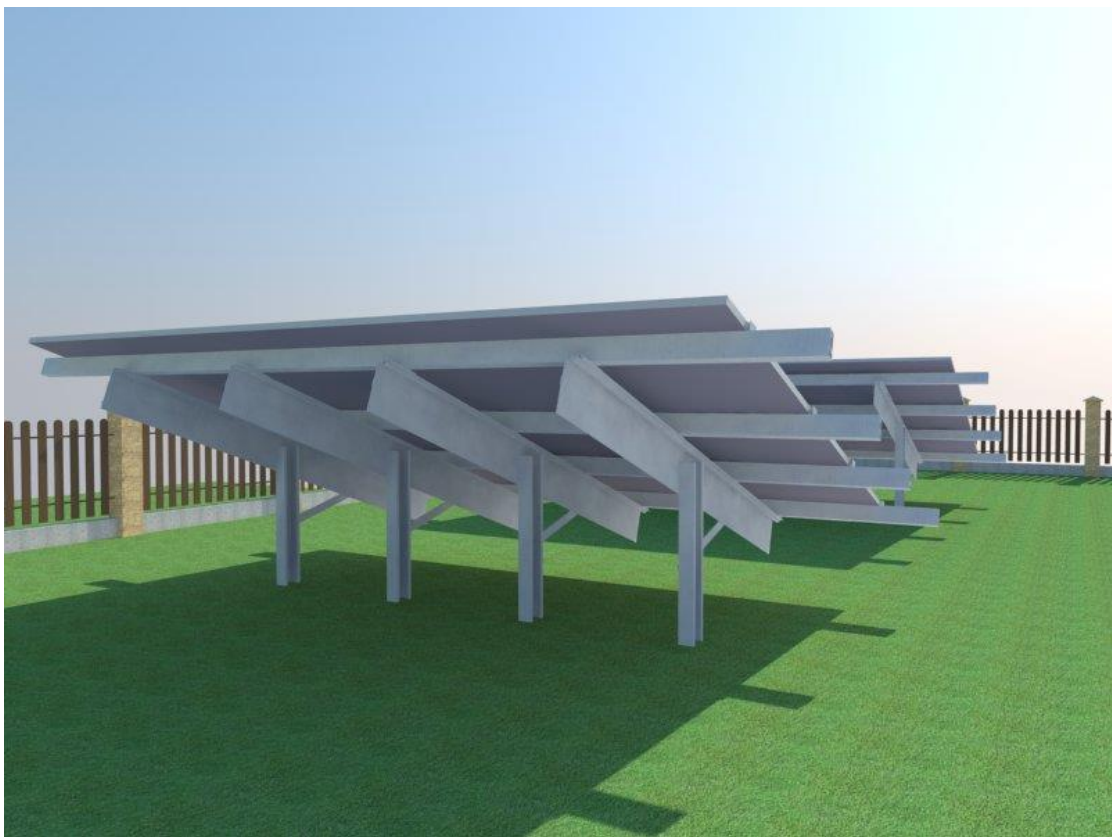
Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως η κατασκευή τους γίνεται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού.

.Οι βάσεις σταθερής κλίσης χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με το έδαφος της περιοχής και το κόστος της εγκατάστασης. Οι κατηγορίες αυτές είναι :

- Πασσαλόμπηξη
- Βιδωτά θεμέλια
- Μπετόν
- Μεταλλικοί ορθοστάτες

4.3.1.1 ΠΑΣΣΑΛΟΜΠΗΞΗ

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την τοποθέτηση πασσάλων σε μικρά βάθη πάνω στους οποίους τοποθετείται μία η βάση στήριξης με την οποία "δένουν" τα πάνελ. Μπορεί να γίνει είτε απευθείας στο έδαφος είτε με την χρήση σκυροδέματος. Για μεγάλες εγκαταστάσεις και για τοποθεσίες που δεν επιτρέπουν την χρήση σκυροδέματος η πασσαλόμπηξη γίνεται απευθείας στο έδαφος. Απαιτεί λίγο χρόνο εγκατάστασης και έχει και σχετικά μικρότερο κόστος από τις υπόλοιπες μεθόδους στήριξης καθώς απαιτεί λιγότερη εργασία και λιγότερα υλικά όπως βίδες κ.α. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι γεωτεχνικές μελέτες που πρέπει να γίνουν στο έδαφος έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι η πασσαλόμπηξη θα πραγματοποιηθεί χωρίς να προκύψουν μελλοντικά προβλήματα αστάθειας. Οι πάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα και σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Η διαδικασία της πασσαλόμπηξης πραγματοποιείται με ειδικά μηχανήματα που αποτρέπουν τα λάθη απόκλισης.



Εικόνα 25 σύστημα στήριξης με πασσαλόμπηξη

4.3.1.2 ΒΙΔΩΤΑ ΘΕΜΕΛΙΑ

Ο δεύτερος τρόπος στήριξης είναι τα βιδωτά θεμέλια δηλαδή βίδες εδάφους . Η διαφορά από την πασσαλόμψη είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση ειδικές βίδες που όπως οι γαιόβιδες ή οι αγκυρόβιδες τοποθετούνται στο έδαφος μετά από περιστροφή και κατακόρυφη πίεση. Τα θεμέλια αυτά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αντέχουν σε αντίξοες καιρικές συνθήκες και μπορούν να στηρίξουν πολύ μεγάλο φορτίο χωρίς να επιτρέπουν καμία μετακίνηση. Τα βιδωτά θεμέλια μπορούν να τοποθετηθούν σε όλα τα είδη εδάφους όπως χωμάτινο ή και βραχώδες, και κατά την διάρκεια οποιονδήποτε καιρικών συνθηκών. Επίσης με αυτήν την μέθοδο στήριξης μπορεί να γίνει τοποθέτηση σε επίπεδα με κλίση.

Οι βίδες είναι συνήθως κατασκευασμένες από χάλυβα και η τοποθέτηση τους γίνεται με ειδικά μηχανήματα που διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος της βίδας και το έδαφος τοποθέτησης.

4.3.1.3 ΘΕΜΕΛΙΑ ΑΠΟ ΜΠΕΤΟΝ

Ένας άλλος τρόπος θεμελίωσης των βάσεων είναι η χρησιμοποίηση μπετόν. Αυτό πραγματοποιείται είτε με πολλά πέλαματα που συνδέονται με τις βάσεις και είναι τοποθετημένα σε λάκκους σκαμμένους πριν από την τοποθέτηση είτε με ένα ενιαίο για όλες τις βάσεις δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η θεμελίωση με μπετόν προσφέρει το πλεονέκτημα ότι έχει μεγάλη ανθεκτικότητα δεν είναι εύφλεκτο, δεν διαβρώνεται εύκολα και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Ακόμα το μπετόν μπορεί να προσαρμοστεί σε όλα τα είδη εδάφους, ακόμα και όταν το έδαφος είναι μαλακό, οπότε η χρήση των άλλων μεθόδων είναι αδύνατη.

Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός κα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών, όπως βίδες ή σύνδεσμοι των φωτοβολταϊκών πάνελ, και να μεριμνά για την αποφυγή οξειδώσεων, ηλεκτρόλυσης, όδευσης καλωδίων καθώς και για την στήριξη πινάκων ή αντιστροφέν, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.



Εικόνα 26 σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε πέλμα από

4.3.2.4 ΘΕΜΕΛΙΑ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΟΡΘΟΣΤΑΤΕΣ

Ο τελευταίος τρόπος θεμελίωσης σταθερών βάσεων είναι η θεμελίωση με μεταλλικούς ορθοστάτες. Οι ορθοστάτες αυτοί είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα σε συνδυασμό με ψευδάργυρο για να αποφεύγεται η διάβρωση. Οι μεταλλικοί ορθοστάτες τοποθετούνται με ειδικά τρυπάνια. Πάνω στους ορθοστάτες υπάρχει ένα τριγωνικό πλαίσιο και τρία σημεία πάκτωσης για μεγαλύτερη σταθερότητα .

4.3.2 ΒΑΣΕΙΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30% [10]. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

Συστήματα μονού άξονα: Πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Συστήματα διπλού άξονα : Σε αυτήν την περίπτωση η κίνηση η κίνηση πέρα από τον άξονα της Ανατολής-Δύσης περιλαμβάνει και τον οριζόντιο άξονα, δηλαδή την κλίση των πάνελ. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ήλεκτρο- μηχανικά ή ήλεκτρο- υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Ωστόσο, είναι σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής.

Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Λόγω της ανάγκης κίνησης σημαντικού αριθμού πάνελ, τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης. Στη βάση στήριξης τοποθετείται συνήθως και ο αντιστροφείας (inverter) ή αν αυτό δεν είναι δυνατόν, γίνεται η αναχώρηση καλωδίων προς ένα κεντρικό σημείο συλλογής όπου βρίσκονται και οι αντιστροφείς.

Το γεγονός αυτό οδηγεί σε κατασκευές σημαντικού ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 10-12 μέτρα, αναλόγως της κατασκευής. Το ύψος της κατασκευής συνήθως αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας των πάνελ. Σήμερα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν ισχύ πάνελ που κυμαίνεται από 2-3kWp έως περίπου 33kWp.

Το σημαντικό μέγεθος της κατασκευής καθιστά πολυπλοκότερη και την έδραση. Συνήθως οι βάσεις στήριξης εδράζονται σε οπλισμένο σκυρόδεμα. Το μέγεθος αυτό και κυρίως το ύψος αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, συνήθως κατά 1,5-2 φορές, λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους για την αποφυγή σκιάσεων. Επιπλέον, το μέγεθος των trackers τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους (σε σχέση με συστήματα σταθερών βάσεων) σε ανεμοπιέσεις. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι να χρησιμοποιείται ένα ανεμόμετρο και όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το

σύστημα κίνησης να λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, μία διαδικασία γνωστή ως «οριζοντίωση», για λόγους προστασίας. Το όριο αυτό της ταχύτητας κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι και χαμηλό και να αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου τέτοιου συστήματος.

Όπως είναι λογικό το κόστος των βάσεων με ιχνηλάτες είναι αισθητά μεγαλύτερο σε σχέση με τις σταθερές βάσεις. Επίσης, εκτός του αρχικού κόστους τοποθέτησης των ιχνηλατών πρόσθετα κόστη προκύπτουν από την συντήρηση και άλλες εργασίες που αφορούν τους ιχνηλάτες. Πέραν των παραπάνω, κάθε μελετητής μηχανικός και εν δυνάμει ιδιοκτήτης ενός Φ/Β πάρκου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα εξής πρακτικά ζητήματα που αφορούν την τοποθέτηση των συστημάτων ιχνηλάτησης:

1. Όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χρήζουν συντήρησης λόγω της ύπαρξης ηλεκτρο-μηχανικών ή ηλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί απαραίτητος ο επανα-προγραμματισμός του λογισμικού του συστήματος κίνησης, λόγω απώλειας δεδομένων.

2. Λόγω του σημαντικού τους ύψους, είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας και όχι έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας, όπως ισχύει για τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και επηρεάζει τον χρόνο υλοποίησης της κατασκευής του σταθμού.

3. Επιπλέον λόγω του σημαντικού ύψους, η εκτέλεση διάφορων εργασιών γίνεται δυσκολότερη σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών αποτελούν η αντικατάσταση ενός πάνελ που έχει υποστεί φθορά ή ο καθαρισμός πάνελ. ([9])



Εικόνα 27 σύστημα ιχνηλάτησης διπλού άξονα 1

4.3 ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1μέτρο.

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60oC και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV)ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55oC έως125oC). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφέες κυμαίνονται συνήθως από 4-16mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των 25-70mm², σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφέες (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100kW και άνω. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου. Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων. Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να

λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή. Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5m Ω και μικρότερη). Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYG, NYM, NYCWY)εφαρμόζοντας τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους. [9]

4.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Ο υποσταθμός μέσης τάσης είναι απαραίτητος σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς του Φ/Β πάρκου είναι μεγαλύτερη από 100 KW και σε αυτήν την εργασία δεν θα μας απασχολήσει. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι ο υποσταθμός πρέπει να αποτελείται από πίνακα μέσης τάσης , έναν τουλάχιστον μετασχηματιστή ισχύος και από πίνακα χαμηλής τάσης. Επίσης σε περιπτώσεις που ο υποσταθμός είναι απαραίτητος θα πρέπει να έχει ληφθεί υπόψη ότι απαιτείται ανεξάρτητος χώρος ο οποίος να πληρεί κάποιες προδιαγραφές.

4.5 ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ως μέσα προστασίας εννοούνται οι συσκευές εκείνες οι οποίες είναι σε θέση να διακόψουν έγκαιρα και με ασφάλεια μία μη ομαλή κατάσταση λειτουργίας όπως είναι η υπερφόρτιση, το βραχυκύκλωμα, η έλλειψη τάσης και η υπέρταση. Τα μέσα γενικής προστασίας που χρησιμοποιούνται από τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Οι ασφάλειες είναι μέσα προστασίας κυρίως έναντι των βραχυκυκλωμάτων δηλαδή ρευμάτων τα οποία είναι πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος είναι μέσα προστασίας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σε υπερφόρτιση, δηλαδή ρεύμα το οποίο είναι ακόμη και λίγο πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, αλλά και σε βραχυκυκλώματα όπως οι ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τιμών λειτουργίας τους. Αυτό είναι σημαντικό για το συντονισμό και τη ρύθμιση της λεγόμενης επιλογικής προστασίας. Ο υπολογισμός των μέσων προστασίας γίνεται για να προσδιοριστεί η ονομαστική τιμή τους αλλά και η συμπεριφορά τους σε μεταβατικές καταστάσεις. Έτσι, στις ασφάλειες προσδιορίζεται η ονομαστική τους τιμή αλλά και η καμπύλη που προσδιορίζει το χρόνο διακοπής ως συνάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Στους αυτόματους διακόπτες ισχύος προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους και οι χρόνοι απόκρισής τους σε υπερφόρτιση και

βραχυκύκλωμα. Εκτός των παραπάνω γενικών μέτρων προστασίας, υπάρχουν για τους μετασχηματιστές και ειδικά μέσα προστασίας τα οποία εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Τέτοια μέσα προστασίας είναι η επιτήρηση της θερμοκρασίας, ο ηλεκτρονόμος Buchholz και η διαφορική προστασία. Η επιτήρηση της θερμοκρασίας γίνεται συνήθως με ειδικές αντιστάσεις και σε περίπτωση υπέρβασής της πάνω από κάποιο όριο διακόπτεται η παροχή. Άνοδο της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμη και μία διαρκής υπερφόρτιση. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz λειτουργεί με την παρουσία αερίων καύσης λαδιού ή μόνωσης σε ένα χώρο του ή με την παρουσία αέρα σ' αυτόν. Τα αέρια καύσης προκαλούνται από βραχυκυκλώματα ή σφάλματα μόνωσης στο μετασχηματιστή ενώ ο αέρας οφείλεται σε διαρροή λαδιού. Για οικονομικούς λόγους εφαρμόζεται σε μετασχηματιστές ισχύος 800 kVA και πάνω ή αν ζητηθεί. Η διαφορική προστασία είναι μία σχετικά πλήρης αλλά και ακριβής μέθοδος προστασίας. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ανιχνευτούν σφάλματα τριφασικά, διφασικά, μονοφασικά, μεταξύ των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και σφάλματα μεταξύ σπειρών ενός τυλίγματος. [9]

4.6 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η απόφαση για το αν θα τοποθετηθεί σύστημα αντικεραυνική προστασίας (ΣΑΠ) και το είδος της προκύπτει μετά την μελέτη διάφορων παραμέτρων όπως είναι η τοποθεσία της εγκατάστασης, το μέγεθος κ.α. Μετά την μελέτη των παραμέτρων αυτών η εγκατάσταση κατατάσσεται σε μία από τις 5 στάθμες προστασίας I,II,III και IV με την I να είναι η πιο αυστηρή και η IV η πιο χαλαρή. Ακολουθώντας, γίνεται με προσοχή ο σχεδιασμός αρχικά της εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας και ακολούθως της εσωτερικής.

4.6.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η εξωτερική εγκατάσταση περιλαμβάνει το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς, το σύστημα αγωγών καθόδου που εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος κεραυνού προς τη γη και το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα κεραυνού στο έδαφος.

4.6.1.1 ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το συλλεκτήριο σύστημα ενός συστήματος προστασίας από κεραυνούς, έχει σκοπό να συλλαμβάνει τα πλήγματα προφυλάσσοντας έτσι την κατασκευή. Η σχεδίαση του συλλεκτήριου συστήματος εξαρτάται από τη γεωμετρία και το μέγεθος καθώς επίσης και από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας της κατασκευής που χρίζει προστασίας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα είναι η μέθοδος της γωνίας προστασίας, η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας και η μέθοδος των βρόχων.

4.6.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΘΟΔΟΥ

Οι αγωγοί καθόδου αποτελούν την απευθείας συνέχεια των στοιχείων του συλλεκτηρίου συστήματος. Εάν το ρεύμα του κεραυνού επιμερίζεται σε πολλές οδούς όδευσης, τότε μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης δευτερογενών υπερπηδήσεων και περιορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του στο εσωτερικό της κατασκευής. Επομένως η τοποθέτηση τους πρέπει να γίνεται κατά το δυνατό περιμετρικά της κατασκευής, σε διάταξη συμμετρική και με τρόπο ώστε να υπάρχουν αρκετές παράλληλες και συνεχής οδοί ροής ρεύματος (σε κάθε περίπτωση να υπάρχουν τουλάχιστον δύο αγωγοί καθόδου) εξασφαλίζοντας τη συντομότερη όδευση του προς τη γη.

4.6.1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ

Γείωση, γενικά, είναι η ευκολία ή δυσκολία που συναντά το ρεύμα στην προσπάθεια του να διοχετευτεί στην άπειρη γη. Είναι δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση, σκόπιμη ή τυχαία, μέσω της οποίας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή συσκευή συνδέεται με τη γη ή με αγώγιμο σώμα τέτοιου μεγέθους που να θεωρείται γη. Σκοπός της είναι να εξασφαλίζει την ακεραιότητα του εξοπλισμού και τη συνέχεια της λειτουργίας του, σε περίπτωση εμφάνισης οποιουδήποτε σφάλματος, παρέχοντας διαδρομή απαγωγής και εκτόνωσης του ρεύματος στη γη. Προστατεύει από ηλεκτροπληξία άτομα που είτε δουλεύουν είτε κινούνται στον περιβάλλοντα χώρο και μειώνει τις πιθανότητες ανάπτυξης επικίνδυνων βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής. Ένα σύστημα γείωσης πρέπει να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια : να παρέχει χαμηλή εμπέδηση για το ρεύμα να μειώνει τον κίνδυνο κατάρρευσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού, να μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας για τον άνθρωπο και να ελαχιστοποιεί το κόστος.

4.6.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η εσωτερική αντικεραυνική προστασία περιλαμβάνει τα μέσα με τα οποία περιορίζονται σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος κεραυνού, τόσο στο εσωτερικό της κατασκευής που χρήζει προστασίας όσο και σε γειτονικές της. Αυτά είναι οι ισοδυναμικές συνδέσεις, η μαγνητική θωράκιση και η δρομολόγηση καλωδίων.

4.6.2.1 ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξασφαλίζουν την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ σημείων του κυκλώματος ή μεταξύ διαφορετικών κυκλωμάτων. Συνέπεια αυτού, είναι να μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού ή σφάλματος στην εγκατάσταση. Οι συνδέσεις αυτές υλοποιούνται μέσω συνδετήριων αγωγών και εκτροπέων υπέρτασης όπου δεν επιτρέπεται η άμεση αγώγιμη σύνδεση.

4.6.2.2 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ

Η μαγνητική θωράκιση στόχο έχει να μειώσει το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του προστατευόμενου χώρου. Η θωράκιση των καλωδίων περιορίζεται στην καλωδίωση με χρήση μεταλλικού καλύμματος καλωδίου ή κλειστούς μεταλλικούς αγωγούς καλωδίων.

4.6.2.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Μια σωστά μελετημένη όδευση των καλωδίων περιορίζει σημαντικά τις περιοχές επαγόμενων τάσεων που δημιουργούν οι σχηματιζόμενοι από τα καλώδια βρόχοι. Έτσι, κλειστές περιοχές καλωδίων πρέπει να περιορίζονται κατά το δυνατό περισσότερο και οι αγωγοί πρέπει να οδηγούνται όσο το δυνατό πιο κοντά στους προστατευτικούς αγωγούς συνδέσεων. Τα μέτρα που λαμβάνονται για την όδευση των καλωδίων είναι πολύ σημαντικά για τον περιορισμό υπερτάσεων από κεραυνικό πλήγμα.

4.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Μία άλλη τεχνολογία που αφορά τα φωτοβολταϊκά είναι οι συσσωρευτές ενέργειας. Οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο και έχουν στόχο την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά όταν αυτή δεν αξιοποιείται άμεσα.

Οι συσσωρευτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς είναι μίας χρήσεως και όταν εκφορτιστούν πλήρως δεν υπάρχει δυνατότητα επαναφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα που απαιτούν μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης και μικρό αρχικό κόστος. Ως εκ τούτου δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

Οι δευτερογενείς χαρακτηρίζονται από αντιστρεψιμότητα των χημικών δράσεων στα ηλεκτρόδια τους και συνεπώς όταν εκφορτιστούν μπορούν να επαναφορτιστούν. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη ισχύς. Οι βασικότεροι εκπρόσωποι της κατηγορίας αυτής, που είναι και οι πλέον κατάλληλοι για φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, οι συσσωρευτές νικέλιου-κάδμιου και οι λιθίου. Οι τελευταίοι ωστόσο δεν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

Στη βασική τους μορφή, ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό), συνήθως με την μορφή επιπέδων πλακών, εμβαπτισμένα σε διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο παρέχει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα κατά την διάρκεια της εκφόρτισης ενώ το θετικό δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα κατά την διάρκεια της εκφόρτισης και ο ηλεκτρολύτης συμπληρώνει το κύκλωμα παρέχοντας ιόντα που απαιτούνται για την αγωγή μεταξύ ηλεκτροδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 99.84 ΚWp

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση όλης της διαδικασίας μελέτης για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 99.84 ΚWp στην περιοχή της Λευκωσίας στην Κύπρο. Η διαδικασία αποτελείται από διάφορα στάδια καθένα από τα οποία έχει μεγάλη σημασία για το τελικό αποτέλεσμα. Τα στάδια αυτά, με την σειρά που μελετώνται, είναι η διαδικασία αδειοδότησης, η επισκόπηση του χώρου, η χωροθέτηση, ο υπολογισμός και η διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής μονάδας, ο υπολογισμός των AC και DC καλωδιώσεων και των διατάξεων προστασίας και τέλος η κατασκευή αντικεραυνικής προστασίας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα στάδια τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω.

5.1 Διαδικασία αδειοδότησης

Τα γενικά βήματα για την αδειοδότηση έργων ΑΠΕ στην Κύπρο είναι :

1. Αίτηση για προκαταρκτικές απόψεις στο Τμήμα Πολεοδομίας & Οικήσεως για λήψη προκαταρκτικών απόψεων.
2. Αίτηση στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου ΡΑΕΚ για εξαίρεση από άδεια κατασκευής (για έργα εγκατεστημένης ισχύος που δεν ξεπερνά τα 5MW) και σε τελικό στάδιο υλοποίησης του έργου αίτηση για άδεια λειτουργίας (πάντα εξαρτάται από τη δυναμικότητα του έργου).
3. Αίτηση στο Τμήμα Πολεοδομίας και Οικήσεως για έκδοση Πολεοδομικής Άδειας. Η αίτηση για έκδοση Πολεοδομικής Άδειας θα πρέπει να συνοδεύεται από Μελέτη Εκτίμησης Επιπτώσεων στο Περιβάλλον (για φωτοβολταϊκά έργα με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 100 kW)
4. Η Επιτροπή -ΕΕΠ είναι η αρμόδια επιτροπή για την εξέταση της ΜΕΕΠ και την έκδοση των Περιβαλλοντικών Όρων του Έργου
5. Αίτηση για έκδοση άδειας οικοδομής στα Επαρχιακά Γραφεία ή Δημοτικές Υπηρεσίες που λειτουργούν ως οικοδομικές αρχές
6. Αίτηση στον ΔΣΔ ή ΔΣΜ για σύνδεση με το δίκτυο (εξαρτάται από τη δυναμικότητα της μονάδας), αποδοχή των όρων, πληρωμής και σύμβαση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
7. Αίτηση για έγκριση επιδότησης στο Ειδικό Ταμείο ΑΠΕ και ΕΞΕ, συμφωνία επιδότησης με την Επιτροπή Διαχείρισης του Ειδικού Ταμείου
8. Κατασκευή της μονάδας, σύνδεση και Αίτηση στην ΡΑΕΚ για άδεια λειτουργίας

Κατά την αξιολόγηση αίτησης για χορήγηση Πολεοδομικής Άδειας για φωτοβολταϊκό πάρκο γίνονται διαβουλεύσεις του Τμήματος Πολεοδομίας & Οικήσεως με τις ακόλουθες αρχές και φορείς, ανάλογα με την περίπτωση:

1. Το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού.
2. Το Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος και τα Τμήματα Δασών, Γεωργίας, Αναδάσμου, Γεωλογικής Επισκόπησης, Αναπτύξεως Υδάτων, Αλιείας και Θαλασσιών Ερευνών και Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και τις Υπηρεσίες Περιβάλλοντος και Μεταλλείων.
3. Το Υπουργείο Εσωτερικών, το Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας, τον οικείο Έπαρχο και το Ταμείο Θήρας.
4. Το Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων και τα Τμήματα Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών, Ηλεκτρομηχανολογικών Υπηρεσιών, Δημοσίων Έργων, Οδικών Μεταφορών, Πολιτικής Αεροπορίας και Αρχαιοτήτων.
5. Το Υπουργείο Άμυνας.
6. Το Υπουργείο Υγείας.
7. Τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου.
8. Την οικεία Τοπική Αρχή.
9. Το Διοικητή Βρετανικών Βάσεων, σε κατάλληλες περιπτώσεις.
10. Την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου.

Ο Ν.140 (Ι)/ 2005 προβλέπει την υποχρεωτική εκτίμηση των επιπτώσεων που ενδέχεται να επιφέρει στο περιβάλλον η εκτέλεση και λειτουργία ορισμένων έργων και απαγορεύει τη χορήγηση Πολεοδομικής Άδειας ή την έγκριση εκτέλεσης του έργου χωρίς να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι απόψεις της αρμόδιας αρχής (Τμήμα Περιβάλλοντος – Επιτροπή ΜΕΕΠ)

Μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας	Ισχύς Συστήματος	Είδος Περιβαλλοντικής Μελέτης
Αιολική	30-100 kW	ΠΕΕΠ (Εκτός ορίου ανάπτυξης)
	>1 MW	ΜΕΕΠ
Ηλιακή	0-20 kW (σε οροφή)	Δεν εφαρμόζεται
	20-100 kW (στο έδαφος)	Δεν εφαρμόζεται
	>100 -150 kW	ΜΕΕΠ
Υδροηλεκτρική		ΜΕΕΠ
Συμπαγωγή Ενέργειας		ΜΕΕΠ
Βιομάζα (αξιοποίηση ζωικών αποβλήτων)		ΜΕΕΠ

Πίνακας 1 Είδος περιβαλλοντικής μελέτης για κάθε μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας

Κατά την αξιολόγηση της ΜΕΕΠ από την Αρμόδια Αρχή (Τμήμα Περιβάλλοντος – Επιτροπή ΕΕΠ) για την έκδοση Περιβαλλοντικών όρων που συνοδεύουν τους Πολεοδομικούς Όρους, συμμετέχουν στην Επιτροπή οι πιο κάτω φορείς:

1. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
2. Υπουργείο Εμπορίου Βιομηχανίας και Τουρισμού
3. Τμήμα Πολεοδομίας και Οικήσεως
4. Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων
5. Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων
6. Ομοσπονδία Οικολογικών και Περιβαλλοντικών Οργανώσεων
7. ΕΤΕΚ
9. 2 σύμβουλοι μελετητές
10. Τοπικές Αρχές

Για την έκδοση της άδειας οικοδομής απαιτούνται απόψεις από: Την Πυροσβεστική Υπηρεσία Τοπικές Αρχές Τμήμα Υδάτων όλες τις εμπλεκόμενες Υπηρεσίες σύμφωνα με την Επαρχιακή Διοίκηση.

Δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων από 21 kW-150kW σε

1. Εντός ήδη καθορισμένου Ορίου Ανάπτυξης
2. Εντός της λωρίδας κατάληψης εγγεγραμμένου ή υπό εγγραφή δημόσιου ή δασικού δρόμου, δρόμου σχεδίου αναδασμού, μονοπατιού ή εγγεγραμμένου δικαιώματος διόδου.
3. Σε αρχαιολογικό χώρο ή αρχαίο μνημείο
4. Σε Κρατικό Δάσος (εξαιρουμένων των περιοχών της παραγράφου 4.2.1(ζ)²)
5. Σε καθορισμένη Ακτή και Περιοχή Προστασίας της Φύσης, Γεωμόρφωμα, Προστατευόμενο Τοπίο, Περιοχή Προστασίας του Δικτύου Φύση 2000 και οποιαδήποτε άλλη καθορισμένη περιοχή προστασίας της φύσης.
6. Σε καθορισμένη Ζώνη Ειδικής Προστασίας άγριων πτηνών και βιοτόπων

Συνοψίζοντας η διαδικασία αδειοδότησης στην Κύπρο για την εγκατάσταση τεχνολογιών ΑΠΕ μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετη και πολύπλοκη επειδή πολλά διαφορετικά Τμήματα/Υπηρεσίες λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία αδειοδότησης. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις το χρονικό διάστημα αδειοδότησης ακόμη και για μικρά ΦΒ Πάρκα ξεπερνά τα 2 χρόνια

² 4.2.1 (ζ) Απόσταση μεγαλύτερη των 200 μ. από το όριο κρατικού δάσους με πυκνή βλάστηση. Σε κρατικό δάσος με αραιή ή χαμηλή θαμνώδη βλάστηση είναι δυνατή η χωροθέτηση Φωτοβολταϊκού πάρκου, νοουμένου ότι δεν επηρεάζεται αντιτυρική λωρίδα, αφού προηγουμένως εξασφαλισθούν οι απόψεις του Τμήματος Δασών.

και αυτό είναι αποτρεπτικό για ορισμένους επενδυτές. Τέλος, η διαδικασία έχει κόστος για το οποίο οι επενδυτές δεν γνωρίζουν εξ αρχής. [11]

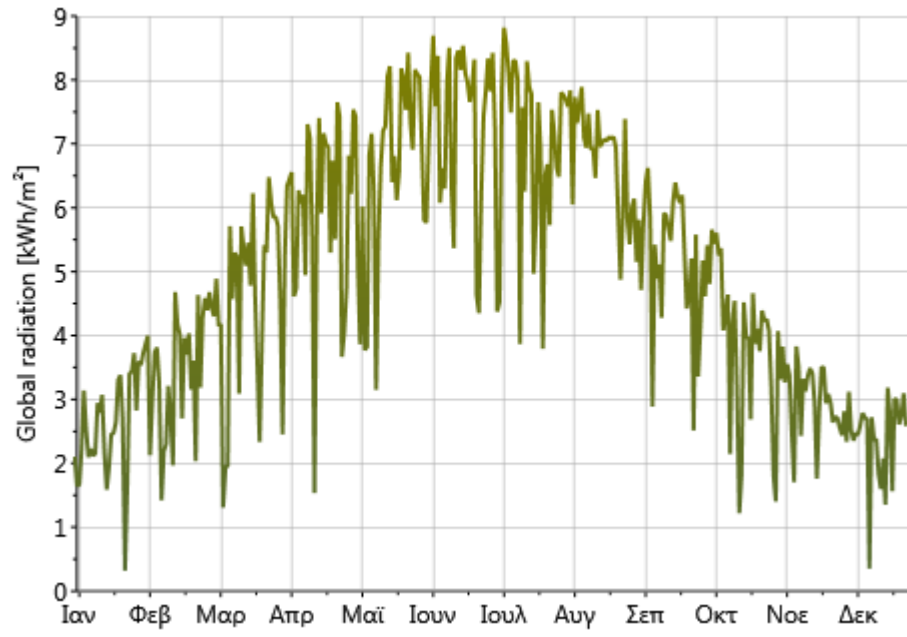
5.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η διαθέσιμη έκταση στη οποία θα πραγματοποιηθεί η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ένα χωράφι 4000 m² έξω από την πόλη της Λευκωσίας στην Κύπρο. Το υψόμετρο της περιοχής είναι 220 m από την ΜΣΘ (μέση στάθμη της θάλασσας). Στο χωράφι δεν υπάρχουν κλίσεις του εδάφους. Το χωράφι έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου με διαστάσεις 80x50 m και κατεύθυνση νοτιοανατολική. Στον περιβάλλοντα χώρο δεν υπάρχουν εμπόδια καθώς η περιοχή είναι γεωργική και τα γύρω χωράφια χρησιμοποιούνται για καλλιέργειες σίτου οι οποίες έχουν ασήμαντο ύψος το οποίο δεν πρόκειται να δημιουργεί σκιάσεις στην εγκατάσταση. Το μοναδικό εμπόδιο που υπάρχει είναι μία αποθήκη 2,5x2 και ύψους 2,40m στην νότιο-δυτική γωνία με απόσταση από τα "σύνορα" του χωραφιού 1 και 2 μέτρα αντίστοιχα, εκτός του χωραφιού.

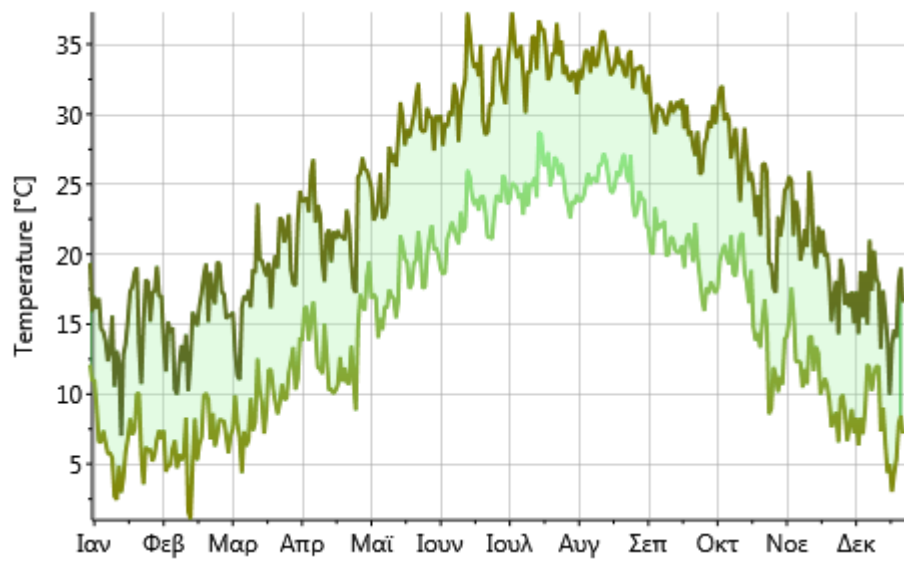
Για την συγκέντρωση των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα meteonorm το οποίο μας έδωσε τα εξής δεδομένα:

	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
January	80	35	105	10,6	5,9	2,1
February	95	43	105	10,6	6,4	2,5
March	144	58	142	13,1	8,1	2,6
April	171	68	157	17,1	10,5	3,1
May	205	80	182	22,3	13,6	3
June	217	74	205	26,9	17,3	3
July	217	77	200	29,7	20,7	2,8
August	217	62	225	29,4	21,1	2,7
September	162	61	163	26,2	17,5	2,7
October	129	44	160	22,3	14,1	2,3
November	91	33	127	16,3	10,2	2,1
December	76	32	112	12	7,8	2
Year	1802	666	1885	19,7	12,7	2,6

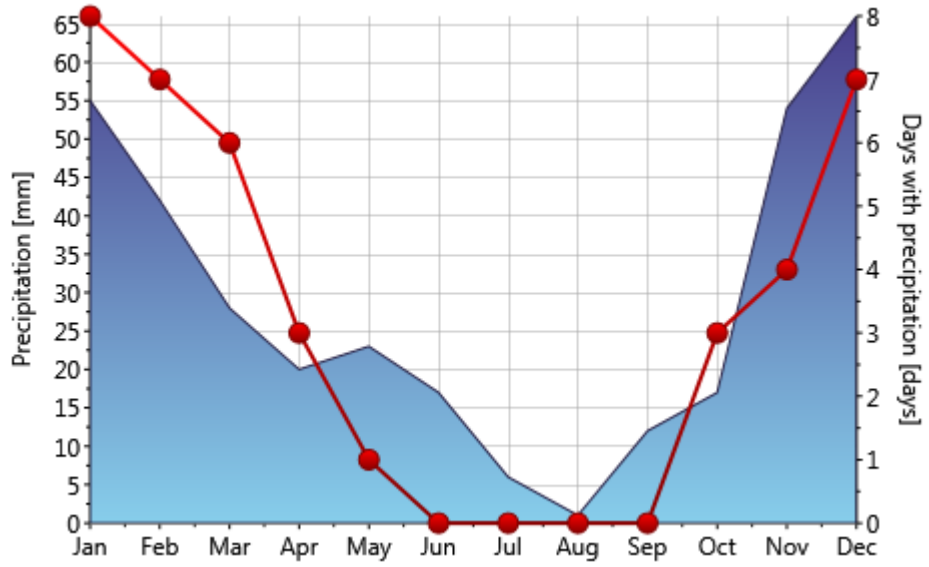
Πίνακας 2 Μετεωρολογικά δεδομένα Λευκωσίας



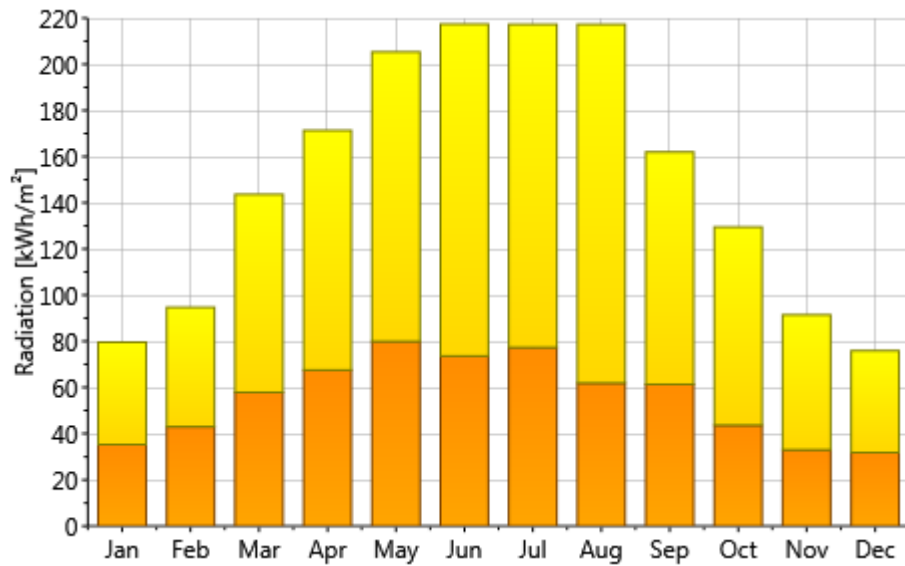
Εικόνα 28 Ακτινοβολία



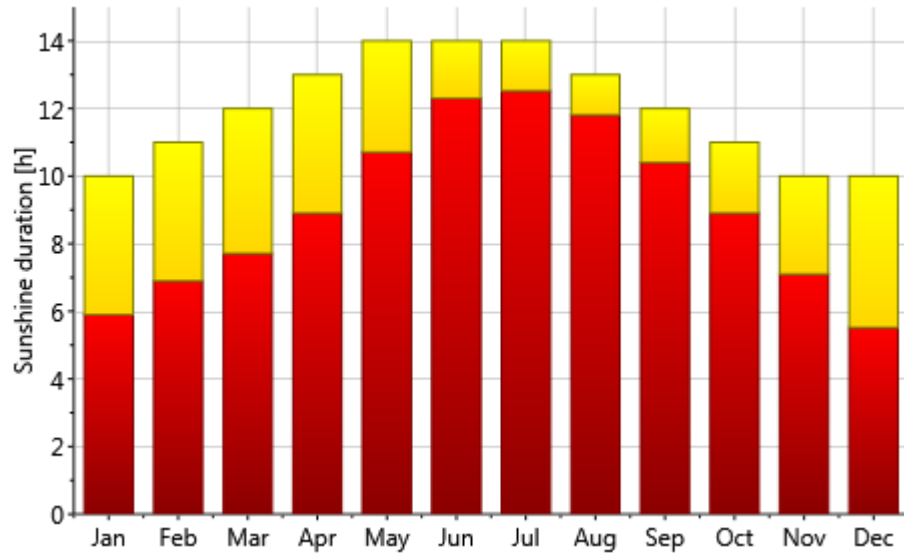
Εικόνα 29 Θερμοκρασία



Εικόνα 30 Βροχόπτωση



Εικόνα 31 Ακτινοβολία 2



Εικόνα 32 Διάρκεια ηλιοφάνειας



Εικόνα 33 Θερμοκρασία 2

5.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τα πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν είναι πολυκρυσταλλικά πάνελ LX-260P60 Eco Line της εταιρείας LUXOR SOLAR και έχουν μέγιστη ισχύ εξόδου 260 Wp. Ο στόχος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι να πλησιάζει όσο το δυνατό περισσότερο στα 100 KWp, οπότε ο αριθμός πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν προκύπτει από την διαίρεση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος με την μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσφέρει κάθε πάνελ.

$$N = \frac{100 \text{ KW}}{260 \text{ W}} = 384,61$$

Άρα ο αριθμός των πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι 384 και η εγκατεστημένη ισχύς της φωτοβολταϊκού πάρκου θα είναι

$$384 * 260 = 99,84 \text{ KWp}$$

Τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής μονάδας φαίνονται παρακάτω



Εικόνα 34 πλαίσιο LX-260P60

ECO LINE P60/240 - 260W

Polycrystalline module family

Electrical data	LX-240P	LX-245P	LX-250P	LX-255P	LX-260P
Rated power P _{mpp} [Wp]	240.00	245.00	250.00	255.00	260.00
P _{mpp} range from	240.00	245.00	250.00	255.00	260.00
P _{mpp} range to	246.49	251.49	256.49	261.49	266.49
Rated current I _{mpp} [A]	7.93	8.04	8.14	8.23	8.32
Rated voltage V _{mpp} [V]	30.30	30.51	30.75	31.02	31.28
Short-circuit current I _{sc} [A]	8.47	8.56	8.59	8.62	8.66
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	37.66	37.73	37.31	37.48	37.94
Efficiency at STC	14.77%	15.07%	15.38%	15.69%	15.99%
Efficiency at 200 W/m ²	14.34%	14.64%	14.94%	15.23%	15.53%
NOCT [°C]	45 ± 2°C	45 ± 2°C	45 ± 2°C	45 ± 2°C	45 ± 2°C

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000 W/m² | module temperature 25°C | AM=1.5
NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800 W/m² | wind speed 1 m/sec | temperature 20°C | AM=1.5

Limiting values	LX-240P / LX-245P / LX-250P / LX-255P / LX-260P
Max. system voltage [V]	1000 V
Max. return current [I]	15 A
Temperature range	-40 to 85°C
Snow-load zone ²	approval up to SLZ 3 (according to DIN 1055)
Max. pressure load (static)	5400 Pa

Temperature coefficient	LX-240P / LX-245P / LX-250P / LX-255P / LX-260P
Temperature coefficient [V] [I] [P]	-0.32% /°C 0.05% /°C -0.45% /°C

Specifications	LX-240P / LX-245P / LX-250P / LX-255P / LX-260P
Number of cells (matrix)	6 x 10, three strings in a row
Cell size	156 mm x 156 mm
Module dimensions (L x W x H) ² Weight	1,640 mm x 992 mm x 40 mm 18.3 kg
Front-side glass	3.2 mm hardened solar glass with low iron content
Frame	stable, anodised aluminium frame in a hollow-section design
Socket	plastic (PPO), IP65, ventilated and strain-relieved
Diodes	3 Schottky Diodes 15A/45V
Cable	4 mm ² solar cable, cable length 1.0 m
Plug-in connection	high-quality plug-in system, (IP65) MC4 or equivalent
Hail test (max. hailstorm)	∅ 45 mm impact velocity 23 m/s
General technical approval	classified according to DIN EN 13501-5 as B _{roof} (ti)

Packing	LX-240P / LX-245P / LX-250P / LX-255P / LX-260P
Packing unit	25 modules, 2 I _{mpp} classes 28 PU/40' container
Dimensions (L x W x H) Weight	174 cm x 114 cm x 121 cm 500 kg gross

The specifications and average values can vary slightly. What is important is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change without notice. Measurement tolerance: rated power +/- 3%, other values +/- 10%, all information in this data sheet corresponds to DIN 50380. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here, other information can be found in the installation guidelines.

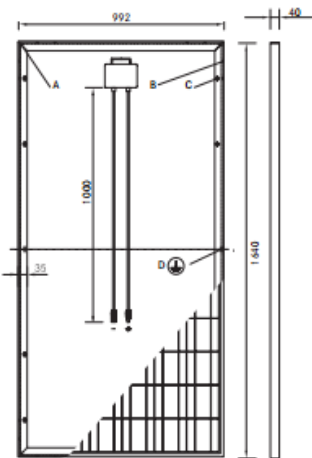
1 The specific warranty conditions are given under www.luxor-solar.com/download.htm

2 For standing installation

3 Tolerance L/W = +/- 3 mm, H = the dimensions given in the order confirmation will be decisive

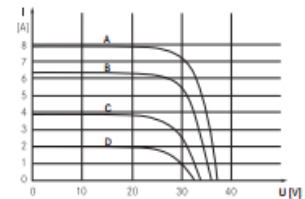
4 Location on request

Back view/ Front view/ Side view³

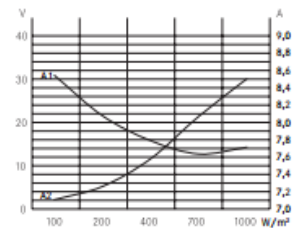


A: 4 x drainage 10*10 mm
B: 8 x ventilation aperture 3*7 mm
C: 8 x mounting hole⁴ d = 7 mm
D: 2 x earthing d = 2 mm

Characteristics



A: 1000 W/m² | B: 800 W/m² | C: 500 W/m² | D: 250 W/m²



A1: I_{mpp} | A2: V_{mpp}

[12]

Εικόνα 35 datasheet πλαισίου LX-260P60 1

Ο Inverter που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο STP 15000TL-30 της εταιρείας SMA, με ισχύ εξόδου 15 KW.



Εικόνα 36 inverter STP 15000TL-30

Οι Inverter που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι 6 και έτσι η μέγιστη παραγόμενη ισχύς με 6 αντιστροφείς των 15 kW θα είναι

$$6 * 15000 = 90 \text{ KW}$$

[13]

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL
Input [DC]	
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$) / DC rated power	15330 W / 15330 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3
Output [AC]	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W
Max. AC apparent power	15000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V
AC voltage range	180 V to 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
THD	≤ 3%
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%
Protective devices	
DC side disconnection device	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester (Type II) can be integrated	○
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
General data	
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm [26.0 / 26.9 / 10.4 inch]
Weight	61 kg [134.48 lb]
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C [-13 °F to +140 °F]
Noise emission (typical)	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
Features / function / Accessories	
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	○
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
Planned certificates and permits	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-4, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-ARN 4105, VFR 2014
* Does not apply to all national appendices of EN 50438	
Type designation	STP 15000TL-30

Εικόνα 37 datasheet inverter STP 15000TL-30 1

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να εξηγήσουμε την διαφορά της εγκατεστημένης ισχύος που προκύπτει από τα πάνελ με την συνολική ισχύ των αντιστροφών. Όπως παρατηρούμε υπάρχει μία διαφορά 9,84 KW, αυτό οφείλεται στο ότι τα 99,84 KW θα παραχθούν από τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες μόνο λίγες μέρες του χρόνου κάτω από τις ιδανικές καιρικές συνθήκες ,μέγιστη ηλιοφάνεια και μόνο κατά την ώρα του μεσημεριού. Αυτό σημαίνει ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου η εγκατάσταση θα παράγει λιγότερη ισχύ από την μέγιστη. Για τον λόγο αυτό συνήθως επιλέγουμε τους αντιστροφείς έτσι ώστε η συνολική ισχύς εξόδου να είναι ανάμεσα στο 80% και 100% της εγκατεστημένης, ανάλογα με την περίπτωση. Θα μπορούσαμε προφανώς να χρησιμοποιήσουμε αντιστροφείς οι οποίοι να καλύπτουν πλήρως την παραγόμενη ισχύ ακόμα και κατά τις λίγες αυτές περιπτώσεις που η παραγωγή είναι ίση με την μέγιστη δυνατή, αλλά αυτό συνεπάγεται πρόσθετο κόστος. Το καθαρό κέρδος που θα είχαμε από την πώληση της ενέργειας χωρίς να χάνονται αυτά τα 9.84 KW σε βάθος 25ετίας είναι πολύ μικρότερο από το κόστος χρησιμοποίησης ενός επιπλέον αντιστροφέα για την κάλυψη αυτών των 9.84 KW.

Στο επόμενο βήμα γίνεται ο υπολογισμός του τρόπου σύνδεσης των πάνελ στους inverters. Κάθε inverter έχει 2 εισόδους οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Κάθε αντιστροφέα πρέπει να συνδεθεί με 64 πάνελ. Η αρχική δοκιμή θα είναι να συνδέσουμε 32 πάνελ σε κάθε μία από τις εισόδους κάθε αντιστροφέα.

Τα πάνελ έχουν θερμοκρασιακό συντελεστή διόρθωσης 0,32% για το Voc. Άρα για την ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής που είναι 3°C και ηλιοφάνεια 1000 KWh/m², αν έχουμε 32 πάνελ σε κάθε στοιχειοσειρά τότε η μέγιστη τάση του συστήματος θα είναι :

$$V = [((25 - 3) * 0,32 \%) + 1] * 37,94 * 32 = 1299 V$$

,τα οποία ξεπερνούν κατά πολύ την μέγιστη DC τάση εισόδου των inverter που είναι 1000 V.

Για τον λόγο αυτό δοκιμάζουμε έναν τρόπο σύνδεσης που μας υπέδειξε το πρόγραμμα sunnysign έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων της περιοχής και των πάνελ που επιλέξαμε. Σε αυτήν την περίπτωση συνδέουμε στην μία είσοδο κάθε inverter 22 πάνελ και στην δεύτερη είσοδο συνδέουμε 2 στοιχειοσειρές συνδεδεμένες παράλληλα οι οποίες έχουν 21 πάνελ η κάθε μία .

Η μέγιστη τάση σε αυτήν την περίπτωση είναι :

$$V = [((25 - 3) * 0,32 \%) + 1] * 37,94 * 22 = 893 V < 1000 V$$

Άρα η μέγιστη τάση είναι εντός ορίων.

Από τις 2 παράλληλες στοιχειοσειρές υπολογίζουμε το μέγιστο ρεύμα εισόδου. Το μέγιστο ρεύμα εισόδου μίας στοιχειοσειράς ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενός πάνελ που είναι 8,66 A .Συνδέοντας δύο στοιχειοσειρές παράλληλα το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να εμφανιστεί γίνεται

$$8,66 * 2 = 17,32 A$$

Ωστόσο σε περιπτώσεις μεγάλης ηλιοφάνειας, είναι δυνατόν η προσπίπτουσα στην επιφάνεια των πάνελ ακτινοβολία να ξεπερνά τα 1000 W/m^2 , τιμή στην οποία αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των πάνελ που χρησιμοποιούμε, με αποτέλεσμα το ρεύμα εξόδου τους να αυξάνεται. Για το λόγο αυτό δίνουμε μία προσαύξηση 25% στο μέγιστο ρεύμα ώστε να είναι πιο ασφαλής η εκτίμησή μας. Δηλαδή

$$17,32 * 1,25 = 21,65 \text{ A}$$

Η τιμή αυτή είναι αρκετά μικρότερη από το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα εισόδου των αντιστροφών που είναι 33 A .

Έπειτα πρέπει να ελέγξουμε εάν η τάση V_{mp} της κάθε συστοιχίας βρίσκεται εντός των ορίων τάσης για τα οποία ο μετατροπέας μπορεί να ψάχνει το σημείο MPP. Με άλλα λόγια πρέπει να ελέγξουμε εάν η κατώτερη τιμή τάσης κάθε συστοιχίας αφενός επαρκεί για να λειτουργεί ο inverter στον οποίο συνδέεται και αφετέρου εάν βρίσκεται εντός του διαστήματος στο οποίο ο inverter μπορεί να ανιχνεύει το MPP(240 -800)

Για 21 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου θα είναι

$$V_{mp21} = 31.28 * 21 = 656.88 \text{ V}$$

Και για 22 πάνελ

$$V_{mp} = 31.28 * 22 = 688.16$$

Οι παραπάνω τιμές τάσης όμως, όπως έχουμε πει και προηγουμένως αφορούν τη λειτουργία σε θερμοκρασία $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία γειτονικά των πάνελ όμως μπορεί να ανέρχεται στους $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ή $70 \text{ }^\circ\text{C}$, γεγονός που μειώνει την τάση εξόδου τους. Για να κάνουμε λοιπόν μία πολύ ασφαλή εκτίμηση για την τιμή της τάσης V_{mp} των συστοιχιών σε υψηλές θερμοκρασίες, θα υπολογίσουμε την V_{mp} στους $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής διόρθωσης για την τάση, όπως είδαμε και παραπάνω είναι $-0,32\%/^\circ\text{C}$. Άρα σε θερμοκρασία $80 \text{ }^\circ\text{C}$ θα έχουμε διαφορά

$$80 - 25 = 55^\circ\text{C}$$

Και ο συντελεστής μείωσης για την V_{mp} θα είναι

$$55 * (-0,32\%) = -17,6\%$$

Άρα η V_{mp} για 21 πάνελ σε σειρά σε θερμοκρασία 80°C θα είναι

$$V_{mp80_{21}} = 656.88 * (100 - 17.6)\% = 541.27 \text{ V}$$

Και για 22 πάνελ σε σειρά θα είναι

$$V_{mp80_{22}} = 688,16 * (100 - 17,6)\% = 567,04 \text{ V}$$

Τον ίδιο έλεγχο για την V_{mp} πρέπει να κάνουμε και για τις ακραία χαμηλά θερμοκρασίες. Όπως πριν για τη V_{oc} , έτσι και για την V_{mp} θα κάνουμε έλεγχο σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, και συγκεκριμένα για θερμοκρασία $3 \text{ }^\circ\text{C}$ η οποία είναι η χαμηλότερη καταγεγραμμένη θερμοκρασία της περιοχής.

Η διαφορά θερμοκρασίας θα είναι

$$3 - 25 = -22^{\circ}\text{C}$$

Και ο συντελεστής θα είναι

$$-22 * (-0,32\%) = 7,04\%$$

Άρα για 21 πάνελ σε σειρά η V_{mp} θα είναι

$$V_{mp3_{21}} = (100 + 7,04) * 656,88 = 703,12 \text{ V}$$

Και για 22 πάνελ σε σειρά θα είναι

$$V_{mp3_{22}} = (100 + 7,04) * 688,16 = 739,08 \text{ V}$$

Παρατηρούμε ότι και οι μέγιστες τιμές για την V_{mp} αλλά και οι ελάχιστες βρίσκονται εντός των ορίων $240 < V_{mp} < 800$, μέσα στα οποία ο αντιστροφέας μπορεί να ανιχνεύσει το MPP.

5.4 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ

Μετά την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού προβαίνουμε στην χωροθέτηση του πάρκου. Για την αποφυγή λαθών πρέπει να είναι ξεκάθαρα τα όρια του πάρκου, τυχόν κλίσεις και ιδιομορφίες του εδάφους. Όπως αναφέρθηκε και στην επισκόπηση του χώρου δεν υπάρχουν κλίσεις του εδάφους και το μοναδικό εμπόδιο είναι μία αποθήκη με ύψος 2,5 m. Κάνοντας χρήση του απλού κανόνα για το διπλάσιο ύψος υπολογίζουμε ότι δεν θα υπάρξει σκίαση σε ακτίνα μεγαλύτερη των

$$2 * 2,5m = 5m$$

Η βέλτιστη κλίση των πάνελ για την περιοχή της Λευκωσίας η οποία προκύπτει από το γεωγραφικό πλάτος είναι 27° και προσανατολισμός νότιος. Οι βάσεις που θα τοποθετηθούν θα είναι σταθερής κλίσης με θα χρησιμοποιήσουμε την θεμελίωση με πασσαλόμπηξη για την στήριξη τους.

Τα πάνελ θα τοποθετηθούν στις βάσεις σε 3 στοιχειοσειρές, 2 των 21 πάνελ και μία των 22, έχοντας την μικρή τους διάσταση παράλληλη στο έδαφος. Ο τρόπος αυτός ονομάζεται 3 portrait. Λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις των πάνελ που είναι 1,64m X 0,992m και ότι ανάμεσα σε κάθε πάνελ θα πρέπει να αφήσουμε 0,024m για λόγους διαστολής και συστολής του μετάλλου, υπολογίζουμε το μήκος κάθε σειράς

$$0,992 * 22 + 21 * 0,024 = 22,328 \text{ m μήκος (22,5m)}$$

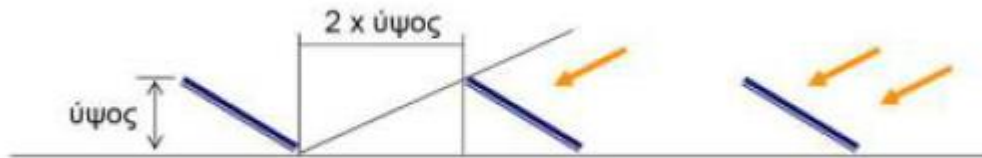
Και

$$1,64 * 3 + 2 * 0,024 = 4,968 \text{ m πλάτος(5 m)}$$



Εικόνα 38 παράδειγμα διάταξης 3 portrait

Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα



Εικόνα 39 ο κανόνας του διπλάσιου ύψους

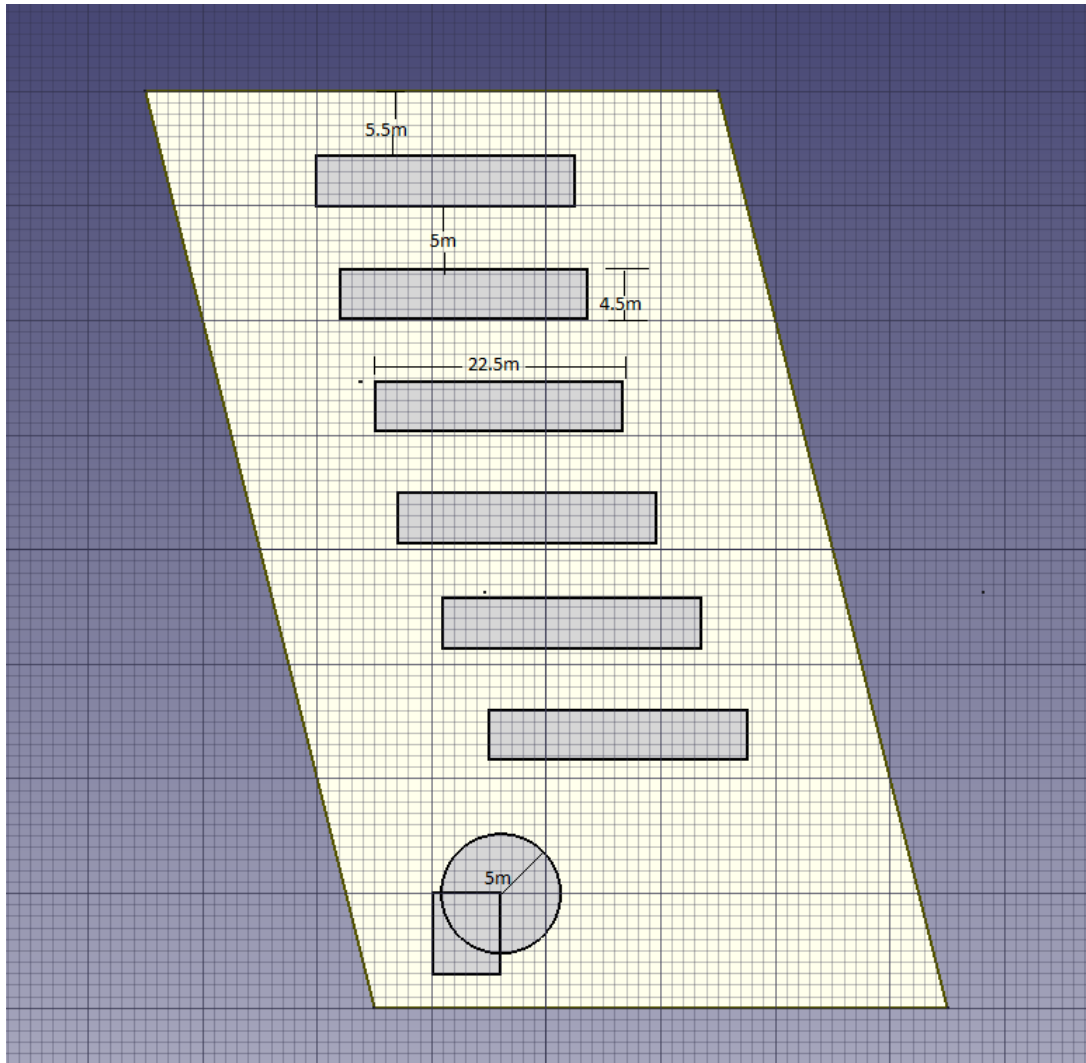
Υπάρχουν και πιο περίπλοκοι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη εξοικονόμησης χώρου απ' ό,τι στο παράδειγμα μας. Το ύψος της εγκατάστασης είναι ίσο με το πλάτος που υπολογίσαμε πριν πολλαπλασιασμένο με το ημίτονο της γωνίας κλίσης, δηλαδή 27° . Άρα

$$\text{Ύψος} = 5\text{m} * \sin 27^\circ = 2,27\text{ m}$$

Άρα συμπεραίνουμε ότι η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα σε 2 σειρές θα πρέπει να είναι

$$2 * 2.27 = 4,5\text{m}$$

Οπότε τοποθετούμε τις στοιχειοσειρές σε απόσταση 5 m η μία από την άλλη για σιγουριά. Περιμετρικά του γηπέδου τοποθετούμε προστατευτικό φράχτη ύψους 1,75 m και αφήνουμε απόσταση τουλάχιστον 5 m για να ξεκινήσουμε την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών.



Εικόνα 40 Κάτοψη οικοπέδου

5.5 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ DC

Για τη σύνδεση κάθε σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων με τους αντιστροφείς θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο τύπου DC Solar διατομής 6mm². Πρόκειται για εύκαμπτα καλώδια με μόνωση και μανδύα από ελαστικό υψηλής αντοχής. Τα καλώδια ακολουθούν τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 623.4 και HD 22.4. Ενδείκνυνται για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους στο ύπαιθρο. Για την καλύτερη διάκριση των καλωδίων θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί χρωματισμοί ανάλογα με την πολικότητα των ισχύων που μεταφέρουν. Συγκεκριμένα RED/BLACK για τον θετικό πόλο και BLACK/BLACK για τον αρνητικό.



Εικόνα 41 καλωδίωση DC

Οι αντιστροφείς θα βρίσκονται πίσω από τις συστοιχίες στο κέντρο τους. Στα άκρα της κάθε στοιχειοσειράς θα υπάρχουν απολήξεις τύπου MCT4 κατάλληλες για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η στήριξη των καλωδίων θα γίνει με δεματικά από πλαστικό υλικό για την αποφυγή επαγωγικών ρευμάτων. Οι προδιαγραφές του καλωδίου είναι οι εξής:

- Εύρος θερμοκρασίας από -40°C ως 120°C.
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας 2 KV DC.
- Αναμενόμενη διάρκεια ζωής >25 έτη.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV protection).
- Δυνατότητα Εγκατάστασης τόσο σε εξωτερικούς χώρους όσο και εντός σωλήνων ή καναλιών.
- Μανδύας και μόνωση από μείγμα ελεύθερων αλογόνων με εξαιρετική αντοχή στη θερμοκρασία.

Η DC καλωδίωση θα ακολουθεί την φορά είτε της μιας είτε της άλλης πολικότητας. Τα καλώδια θα οδεύουν ανά ζευγάρια, διασυνδέοντας το ένα μετά το άλλο πλαίσιο προτού οδεύσουν προς την είσοδο του αντιστροφέα. Έτσι η επιφάνεια του βρόγχου μειώνεται στο ελάχιστο ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο δημιουργίας υπερτάσεων από πτώση κεραυνού στα άκρα της στοιχειοσειράς.

5.6 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ AC

Για την μεταφορά της ισχύος από τους αντιστροφείς προς τον κεντρικό πίνακα ,ο οποίος βρίσκεται μέσα στην αποθήκη, θα χρησιμοποιηθούν καλώδια τύπου H07RN-F διατομής 10mm², διατηρώντας σε κάθε περίπτωση τις απώλειες από την μεταφορά της ενέργειας χαμηλότερα από το 2% της μεταφερόμενης ισχύος.



Εικόνα 42 Καλωδίωση AC

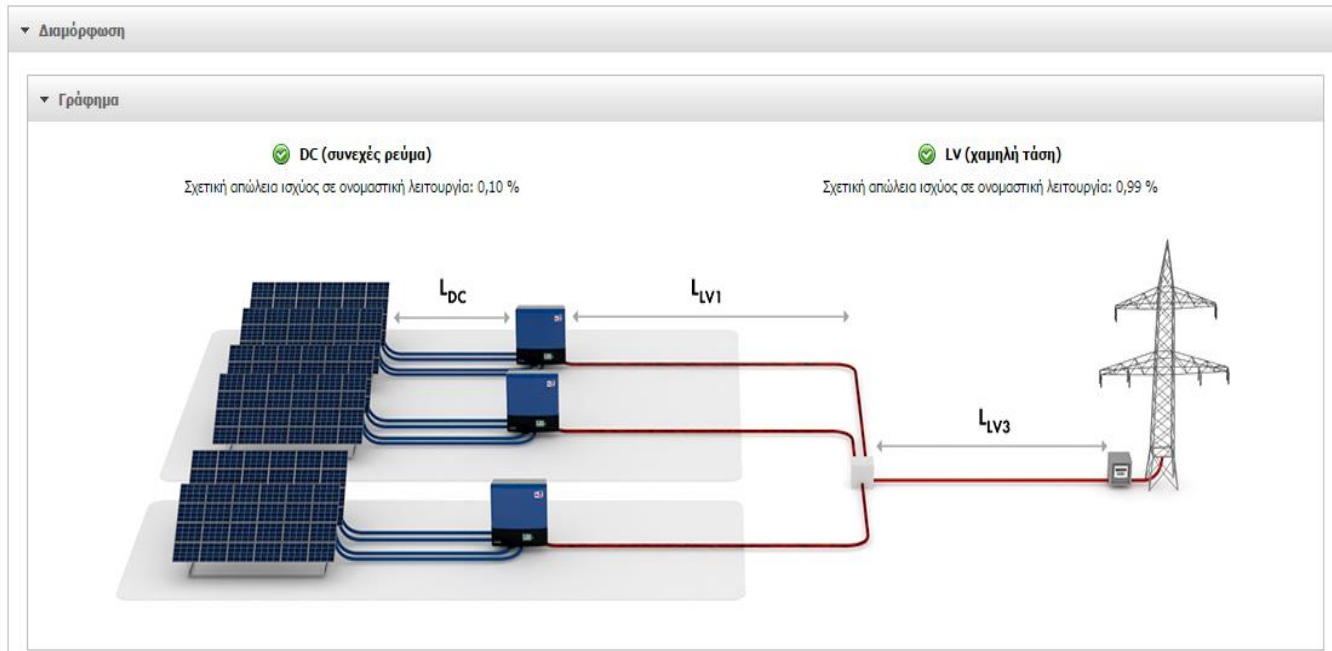
Τα καλώδια του συγκεκριμένου τύπου είναι ανθεκτικά σε όλες τις καιρικές συνθήκες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και μέσα σε νερό (γλυκό ή θαλασσινό). Είναι ανθεκτικά σε όζον, βραδύκαυστα και μπορούν να αντέξουν σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις. Ο εξωτερικός μανδύας είναι από λάστιχο χλωροπρενίου, εσωτερικά φέρουν μόνωση από λάστιχο ενώ ο αγωγός είναι λεπτό πολύκλωνος από χαλκό προσφέροντας έτσι υψηλή αγωγιμότητα και ελαστικότητα. Η τάση λειτουργίας είναι 450/750 V φασική και πολική αντίστοιχα, ενώ η περιοχή θερμοκρασίας από -30oC έως +60oC.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι στην καλωδίωση AC δεν χρησιμοποιήσαμε καλώδια διατομής 6mm² γιατί λόγω του μεγάλου μήκους των καλωδίων η σχετική απώλεια ισχύος στην ονομαστική λειτουργία με αυτήν την διατομή θα είναι αρκετή (1.38%) ,έτσι με αγωγούς διατομής 10mm² αυξάνεται το κόστος αλλά η απώλεια ισχύος είναι 0,57% και το αυξημένο κόστος αντισταθμίζεται από το κέρδος αυτό της ισχύος.

5.7 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ AC (ΙΣΧΥΟΣ)

Σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε τη διατομή των αγωγών του AC καλωδίου το οποίο θα ξεκινά από τον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης και θα συνδέεται στο δίκτυο. Το καλώδιο αυτό θα πρέπει να αντέχει το άθροισμα των μεγίστων ρευμάτων από όλους τους inverters, δηλαδή 6*29=174 A σε κάθε φάση, τιμή αρκετά υψηλή. Για τον λόγο αυτό επιλέγουμε καλώδιο 150 mm² που μπορεί να αντέξει μέγιστη διαρκή ένταση 230 A ανά φάση. Για την ανοχή του μέγιστου ρεύματος θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και αγωγό 120 mm² ,ο οποίος αντέχει μέγιστο ρεύμα 203 A ,αλλά σε αυτήν την περίπτωση πάλι έχουμε αρκετή απώλεια ισχύος (1,10%). Επισημαίνεται ότι οι δοκιμές για την εύρεση της κατάλληλης διατομής των αγωγών έγινε μέσω του προγράμματος sunnydesigns.

	✔ DC (συνεχές ρεύμα)	✔ LV (χαμηλή τάση)	✔ Συνολικά
Απώλεια ισχύος σε ονομαστική λειτουργία	94,35 W	893,59 W	987,95 W
Σχετική απώλεια ισχύος σε ονομαστική λειτουργία	0,10 %	0,99 %	1,09 %
Συνολικό μήκος αγωγού	408,00 m	301,00 m	709,00 m
Διατομές αγωγών	6 mm ²	10 mm ² 150 mm ²	6 mm ² 10 mm ² 150 mm ²



Εικόνα 43 Συνολική διαστασιολόγηση αγωγών 1

5.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ

Προκειμένου η μονάδα παραγωγής ενέργειας να είναι επιτηρήσιμη και άρα να υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένης επίβλεψης του έργου, εσωτερικά στην εγκατάσταση θα τοποθετήσουμε κάποιες συσκευές οι οποίες θα μας παρέχουν τις παραπάνω δυνατότητες. Αρχικά θα τοποθετηθεί ένας SMA Cluster Controller ο οποίος είναι η κεντρική μονάδα επικοινωνίας για την παρακολούθηση του συστήματος, την καταγραφή των δεδομένων και τον έλεγχο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Έπειτα θα τοποθετήσουμε 6 πύλες gateway που συνδέονται με τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες και παρέχει σαφή και άμεση ενημέρωση για την κάθε συστοιχία.

Επίσης στον περιμετρικό φράχτη θα τοποθετηθεί σύστημα συναγερμού και κάμερες ώστε να προστατεύεται η εγκατάσταση.

5.9 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

- Μαχαιρωτές ασφάλειες τήξης

Στη DC πλευρά δε χρειάζεται κάποια ασφάλεια έναντι υπερτάσεων καθώς χρησιμοποιούμε μονές αλυσίδες πάνελ, οπότε το μεγαλύτερο ρεύμα που μπορεί να περάσει από μία συστοιχία είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσής του. Ο inverter περιέχει ένα διπολικό διακόπτη ώστε αν επιθυμούμε χειροκίνητα να τον αποσυνδέσουμε από τη συστοιχία. Στην AC πλευρά της εγκατάστασης θα χρησιμοποιηθούν μαχαιρωτές ασφάλειες τήξης μετά από κάθε inverter και άλλη μία στον κεντρικό Πίνακα, δηλαδή μεταξύ των καλωδίων των inverter που καταλήγουν στον Πίνακα και του καλωδίου που ξεκινά από τον Πίνακα και συνδέεται στο δίκτυο.

- Διακόπτης διαφορικού ρεύματος- ΔΔΡ

Ο διακόπτης αυτός θα χρησιμοποιηθεί για τη προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας ή/και κατά της πυρκαγιάς. Εναλλακτικά φέρει και την ονομασία διακόπτης διαφυγής έντασης ή ρεύματος. Ο διακόπτης αυτός θα τοποθετηθεί στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης μετά το γενικό διακόπτη. Ο ΔΔΡ παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη και αν αυτό υπερβεί μία καθορισμένη τιμή, θα αποζεύξει το κύκλωμα σε όλους τους πόλους, δηλαδή στις φάσεις και στον ουδέτερο.

- Εκτροπείς υπέρτασης

Στα κιβώτια διασύνδεσης, κατά το δυνατόν πλησιέστερα στα πλαίσια εγκαθίστανται εκτροπείς υπέρτασης. Οι εκτροπείς αυτοί προστατεύουν τοπικά τα Φ/Β στοιχεία και εμποδίζουν τις υπερπηδησίες που οφείλονται στις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις στα στοιχεία.

5.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η θεμελιακή γείωση του πάρκου, τρέχουμε κατά μήκος του και σε βάθος 0,6m από την επιφάνεια της γης, γυμνό καλώδιο χαλκού 50mm^2 , το οποίο συνδέεται με όλες τις στοιχειοσειρές των πάνελ περιμετρικά δημιουργώντας έναν κλειστό βρόχο. Στην αποθήκη θα χρησιμοποιήσουμε θεμελιακή γείωση. Η θεμελιακή γείωση εξασφαλίζει χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης, δημιουργία ισοδυναμικής επιφάνειας, προστασία του ηλεκτροδίου από διάβρωση λόγω εγκιβωτισμού στο μπετό, καθώς και μείωση βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής. Η θεμελιακή γείωση του κτιρίου θα συνδέεται με το πλέγμα γείωσης της Φ/Β εγκατάστασης, ώστε να μην είναι δυνατή η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού μεταξύ κτιρίου και εγκατάστασης σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού.

Για την άμεση αντικεραυνική προστασία θα κατασκευαστεί αλεξικέραυνο με ιστό ύψους 9 m στον οποίο θα τοποθετηθεί κεφαλή τύπου pulsar με ακτίνα δράσης 90 m. Στην κεφαλή του

αλεξικέραυνου θα συνδεθεί αγωγός καθόδου διαμέτρου 12 mm, ο οποίος θα συνδεθεί με τρίγωνο γείωσης που θα κατασκευαστεί στη βάση του αλεξικέραυνου. Τα ηλεκτρόδια του τριγώνου θα είναι μήκους 2 m το καθένα και θα τοποθετηθούν σε απόσταση 2,5 m. Το σύστημα του αλεξικέραυνου θα συνδεθεί με το πλέγμα ισοδυναμικής γείωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης είναι αυτή που θα κρίνει τελικά εάν θα πραγματοποιηθεί η επένδυση και ποιο θα είναι το κέρδος του επενδυτή. Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να ορίσουμε τα κριτήρια για την αξιολόγηση μιας επένδυσης, της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (ΕΒΑ).

Η Καθαρή Παρούσα Αξία μιας επένδυσης είναι η παρούσα αξία του καθαρού οικονομικού πλεονάσματος της επένδυσης. Με καθαρό οικονομικό πλεόνασμα εννοούμε τη διαφορά μεταξύ της τελικής αξίας της υπό εξέταση επένδυσης και του κόστους ευκαιρίας της, ενώ το κόστος ευκαιρίας της υπό εξέταση επένδυσης, είναι το ποσό των χρημάτων που θα έχουμε εάν επενδύσουμε το ποσό των χρημάτων στην καλύτερη εναλλακτική επένδυση. Όταν η ΚΠΑ είναι θετική η επένδυση είναι συμφέρουσα, όταν είναι ίση με το μηδέν ο επενδυτής είναι αδιάφορος για την πραγματοποίηση της, ενώ όταν είναι αρνητική η επένδυση δεν πρέπει να υλοποιηθεί.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+i)^t} - K_0$$

- ΚΤΡ : Καθαρές Ταμειακές ροές
- n: το χρονικό διάστημα στο οποίο θα αξιολογηθεί η επένδυση
- i: το επιτόκιο αναγωγής
- K_0 : το αρχικό κόστος της επένδυσης

Οι καθαρές ταμειακές ροές ορίζονται από τον τύπο

$$ΚΤΡ = (E - ΛΔ - A) (1 - ΦΣ) + A$$

Όπου

- E : τα έσοδα από πωλήσεις
- ΛΔ : τις πληρωμές για τους συντελεστές παραγωγής και την διάθεση των προϊόντων

δηλαδή τις λειτουργικές δαπάνες.

- A : τις προβλεπόμενες αποσβέσεις για την επένδυση
- ΦΣ : ο φορολογικός συντελεστής για τον υπολογισμό του φόρου εισοδήματος.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης μιας επένδυσης ορίζεται ως το ετήσιο εσωτερικό επιτόκιο της επένδυσης που επιτυγχάνεται στο κεφάλαιο που έχει επενδυθεί στην αρχή κάθε περιόδου. Είναι το επιτόκιο εκείνο που εξισώνει την Παρούσα αξία των Καθαρών Ταμειακών Ροών της επένδυσης με το αρχικό κεφάλαιο. Εναλλακτικά ο ΕΒΑ μπορεί να θεωρηθεί ως εκείνο το επιτόκιο το οποίο έχει τη δυνατότητα να μηδενίζει την ΚΠΑ της επένδυσης. Όταν ο ΕΒΑ είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης η επένδυση είναι συμφέρουσα. Όταν είναι ίσος με το επιτόκιο προεξόφλησης η επένδυση θεωρείται οριακή και ο επενδυτής μένει αδιάφορος, ενώ όταν είναι μικρότερος από το προεξοφλητικό επιτόκιο η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή, επειδή η απόδοση που αναμένουμε από την επένδυση είναι μικρότερη από την απόδοση που απαιτούμε από αυτήν.

$$-K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1 + EBA)^t} = 0$$

Εάν η ελαχίστη απόδοση (k) είναι μικρότερη του ΕΒΑ έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου. Εάν η ελαχίστη απόδοση (k) είναι μεγαλύτερη του ΕΒΑ έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου. Εάν η ελαχίστη απόδοση (k) είναι ίση με το ΕΒΑ έχουμε αδιαφορία του επενδυτή ως προς την επιλογή του έργου. [14]

Αρχικά πρέπει να γίνει μία εκτίμηση για την αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό. Εισάγοντας τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης στο πρόγραμμα PVSyst μας βγάζει αποτέλεσμα τελικής παραγωγής 1765 KWh/kWp ετησίως. Εμείς για περισσότερη ασφάλεια στα αποτελέσματα μας θα θεωρήσουμε την παραγωγή 1700 KWh/kWp . Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού θα είναι

$$1700 * 99,84 = 169728 \text{ KWh/έτος}$$

Αυτό που πρέπει να λάβουμε υπόψη είναι ότι η απόδοση των πλαισίων μειώνεται με τον χρόνο οπότε η παραγωγή της τελευταίας χρονιάς θα είναι χαμηλότερη από αυτήν της 1^{ης} χρονιάς. Ο συντελεστής μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων φαίνεται στο κεφάλαιο 5 και είναι ίσος με 0,50%/έτος.

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΔΩΝ

Το επόμενο στάδιο είναι να διακρίνουμε τα έξοδα της επένδυσης σε πάγια και λειτουργικά. Πάγια είναι αυτά που καταβάλλονται στην αρχή της επένδυσης για μία φορά ενώ λειτουργικά είναι αυτά που θα καταβάλλονται κάθε χρόνο, αλλιώς ονομάζονται και λειτουργικές δαπάνες.

ΠΑΓΙΑ ΕΞΟΔΑ		
A/A	Περιγραφή	Κόστος
1	Εξυγιάνσεις οικοπέδου για τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος	1000
2	Φωτοβολταϊκά πλαίσια	65.000
3	Αντιστροφείς	15.720
4	Βάσεις στήριξης	30.000
5	Συστήματα τηλεπαρακολούθησης	2.800
6	Πίνακας λειτουργίας και καλώδια	10.000
7	Σύστημα ασφαλείας	5.000
8	Περίφραξη του οικοπέδου	5.400
9	Κατασκευή γείωσης	2.000
10	Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας	17.500
	ΣΥΝΟΛΟ	154420

Πίνακας 3 Πάγια έξοδα

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ		
A/A	Περιγραφή	Κόστος
1	Ασφάλιση εξοπλισμού	1000
2	Φύλαξη πάρκου	600
3	Τακτικός Καθαρισμός πλαισίων	850
	ΣΥΝΟΛΟ	2450

Πίνακας 4 Λειτουργικά έξοδα

Η τιμή στην οποία θα πουλάει την KWh στην ΑΗΚ ο παραγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,12900 €/KWh σταθερή για όλη την διάρκεια της επένδυσης. Η τελική φορολογία μαζί με τις εκπτώσεις που οφείλονται στην προστασία του περιβάλλοντος είναι 10%.

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΠΑ

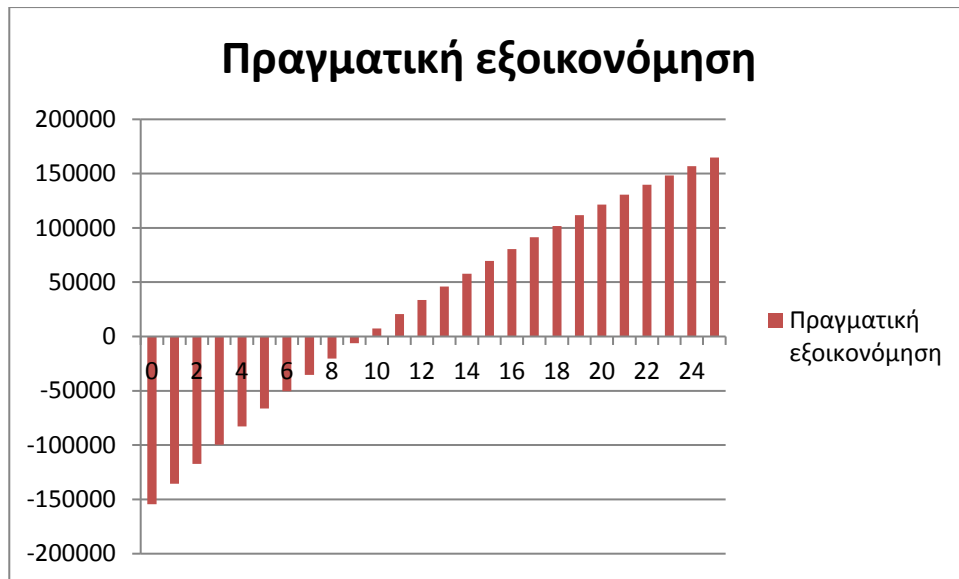
ύμφωνα με όσα έχουμε πει παραπάνω δημιουργείται ο πίνακας

Έτος t	Παραγωγή E(KWh)	$KTP = (E - ΛΔ) * (1 - ΦΣ)$ (€)	$\frac{KTP}{(1 + i)^t}$
1	169728	17500,4208	16990,7
2	168879,36	17401,8937	16402,95
3	168034,9632	17303,85923	15835,48
4	167194,7884	17206,31493	15287,59
5	166358,8144	17109,25836	14758,6
6	165527,0204	17012,68706	14247,86
7	164699,3853	16916,59863	13754,74
8	163875,8883	16820,99064	13278,65
9	163056,5089	16725,86068	12818,98
10	162241,2264	16631,20638	12375,18
11	161430,0202	16537,02535	11946,7
12	160622,8701	16443,31522	11533,01
13	159819,7558	16350,07365	11133,6
14	159020,657	16257,29828	10747,99
15	158225,5537	16164,98679	10375,69
16	157434,4259	16073,13685	10016,25
17	156647,2538	15981,74617	9669,219
18	155864,0175	15890,81244	9334,178
19	155084,6975	15800,33337	9010,709
20	154309,274	15710,30671	8698,416
21	153537,7276	15620,73017	8396,912
22	152770,039	15531,60152	8105,826
23	152006,1888	15442,91852	7824,799
24	151246,1578	15354,67892	7553,485
25	150489,927	15266,88053	7291,547
			ΣΥΝΟΛΟ 287389,0577

Πίνακας 5 Υπολογισμός ΚΠΑ

$$\text{Άρα ΚΠΑ} = 287389,06 - 154420 = 132969 > 0$$

Άρα η επένδυση εγκρίνεται .



Εικόνα 44 Χρόνος απόσβεσης

Όπως φαίνεται και στο γράφημα παραπάνω η αναμενόμενη περίοδος απόσβεσης είναι τα 9 χρόνια.

6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΒΑ

Βήμα	Κ	ΚΠΑ
1°	0,03	132969
2°	0,05	105428
3°	0,07	61507,79
4°	0,09	28407,96
5°	0,11	2973,38
6°	0,12	-7566,31
7°	0,115	-2,454,54
8°	0,113	-322,652
9°	0,112	762,7647
10°	0,1125	218,4124
11°	0,1127	1,59
12°	0,1127015	-0,030496321

Πίνακας 6 Υπολογισμός ΕΒΑ

Άρα ΕΒΑ= 11,27015 % ,οπότε πάλι η επένδυση εγκρίνεται

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει γίνει σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης εποχής και θα παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις με την πάροδο του χρόνου. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μία πολύ αξιόπιστη λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν όμως δυσκολίες στην υλοποίηση τους.

Όπως είδαμε ο σχεδιασμός και η μελέτη ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι μία περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Οι υπεύθυνοι μηχανικοί πρέπει να λάβουν υπόψη πολλές παραμέτρους προκειμένου να εξασφαλίσουν την σωστή λειτουργία του πάρκου.

Αρχικά πρέπει να γίνει σωστή μελέτη του χώρου και να εξεταστεί λεπτομερώς ο βέλτιστος τρόπος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών μονάδων, με μεγάλη προσοχή στην αποφυγή οποιασδήποτε σκίασης. Έπειτα χρειάζεται λεπτομερής διαστασιολόγηση του εξοπλισμού ώστε το αποτέλεσμα να είναι όσο πιο αποδοτικό γίνεται. Τέλος η πρόληψη για την ασφάλεια του πάρκου αλλά και των εργαζομένων είναι απαραίτητη, και πρέπει να καλύπτει οποιοδήποτε περιστατικό μπορεί να προκαλέσει ατύχημα. Όλες αυτές οι διαδικασίες θα ανατεθούν σε διαφορετικούς μηχανικούς, η συνεργασία των οποίων θα δώσει το τελικό αποτέλεσμα.

Η τελική πρόκληση, και ίσως η μεγαλύτερη, για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω να γίνουν κάτω από τον περιορισμό του κόστους ώστε το έργο να είναι οικονομικά αποδοτικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] "EIA Energy Information Administration," [Online]. Available: <http://www.eia.gov/>.
- [2] « World Proved Reserves of Oil and Natural Gas, Most Recent Estimates,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/reserves.xls>.
- [3] Κ.Θ.Δερβος, Εισαγωγή στα ημιαγωγικά υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Αθήνα, 2011.
- [4] Τ.Ο.ΤΕΕ, Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων, Αθήνα, 2011.
- [5] R. & T. Kuehn, Thermal Environmental Engineering 3rd edition, Upper Saddle River, New Jersey.
- [6] Α. Ελευθέριος, Ήπιες μορφές ενέργειας.
- [7] Κ.Καραγκάκης, Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Συμμετρία, 1992.
- [8] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά συστήματα, 2009.
- [9] Τ. Ε. Ε. Τ. Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, Μ. Δαμιανίδης, Γ. Κατσαρός, Μ. Τόλης και Φ. Στεργιόπουλος, Θεσσαλονίκη, 2011.
- [10] Π. Σαμαράς και Π. Μιχαήλ, Σέρρες, 2012.
- [11] Ανθή χαραλάμπους-Ενεργειακό γραφείο Κυπρίων πολιτών, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.etek.org.cy/uploads/fck/Anthi%20Charalambous.pdf>.
- [12] «LUXOR,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.luxorsolar.com/download.htm>.
- [13] «SMA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-15000tl.html>.
- [14] Π.Κάπρος, Οικονομική ανάλυση επιχειρήσεων, Αθήνα, 2007.
- [15] Ε. Ρ.Γκιρίτη, ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ, Αθήνα, 2015.
- [16] Ρ. Δημήτριος, Μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης ισχύος 100 kW, Πάτρα, 2012.