



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΒΟΥΦΑΡΗΑ ΙΣΣΑ**

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Αυγούστος 2017



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ABUFARHA ISSA

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....

.....

Μαρία Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....

Νικόλαος Θεοδώρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Παναγιώτης Τσαραμπάρης

Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Αυγούστος 2017

Copyright © ABUFARHA ISSA, 2017

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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ποιότητα στα συστήματα εναλλακτικών μορφών ενέργειας με έμφαση στα φωτοβολταϊκά πάρκα. Αρχικά δίνεται έμφαση στην ηλιακή ενέργεια, αναλύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία αποτελούνται. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποιοι κρίσιμοι παράγοντες που έχουν να κάνουν με το σχεδιασμό και την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων, όπου παρατίθεται και μια μελέτη περίπτωσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου στα Χανιά Κρήτης και αποτιμώνται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του, που κρίνουν την απόδοση και την ποιότητά του. Η διπλωματική, συνεχίζει παρουσιάζοντας κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων. Εκεί, αναφέρονται, το διάγραμμα ροής ενέργειας φ/β πάρκου, κάποιοι δείκτες αξιολόγησης του φ/β συστήματος και παρατίθεται μια μελέτη περίπτωσης όπου αναλύεται η απόδοση ενός φ/β πάρκου.

Λεξεις Κλειδια

Έλεγχος και πιστοποίηση της ποιότητας στα φωτοβολταϊκα συστήματα.

ABSTRACT

The object of the dissertation is the quality in alternative energy systems with emphasis on photovoltaic parks. Initially, reference is made to the types of alternative energy where the emphasis is on solar energy, photovoltaic systems are analyzed and the parts of which they consist are presented. Subsequently, reference is made in some critical factors which are related to the design and the construction of photovoltaic parks and systems, citing a solar park in Athens and valued some technical features that consider its performance and quality. The dissertation continues presenting some factors that affect the quality and efficiency of the photovoltaic parks and systems. There, the energy flow diagram of Photovoltaic Park, some of the photovoltaic park evaluation indicators are reported and presented a case study which analyzes the efficiency of a photovoltaic park.

Key Words

QUALITY CONTROL AND CERTIFICATION IN PHOTOVOLTAICS SYSTEMS

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την καθηγήτρια Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου για την εποικοδομητική συνεργασία που μου παρείχε, καθώς και για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση και βοήθεια του κατά την εκπόνηση της εργασίας, αλλά και κατά την διάρκεια της φοίτησής μου

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για τη στήριξη τους καθ'όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου όλο αυτόν τον καιρό, με τους οποίους είχα μια άριστη συνεργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
Εισαγωγή	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Γενικά	9
------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φωτοβολταϊκό σύστημα

2.1 Τι είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα	12
2.2 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων	13
2.3 Τρόπος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος	18
2.4 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων	19
2.5 Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	23
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Απόδοση φωτοβολταϊκών πλαισίων και συστημάτων

4.1 Εισαγωγή	25
4.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ηλιακής κυψέλης	25
4.2.1 Μη ιδανική ηλιακή κυψέλη	25
4.2.2 Ιδανική ηλιακή κυψέλη	27
4.3 Απόδοση ηλιακής κυψέλης	32
4.5 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου	32
4.5 Αξιολόγηση απόδοσης	39

4.6	Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων	41
-----	--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

5.1	Διάγραμμα Ροής Ενέργειας Φωτοβολταϊκού Πάρκου	45
5.2	Δείκτες Αξιολόγησης του Φωτοβολταϊκού Συστήματος	46
5.3	Μελέτη περίπτωσης: Ανάλυση απόδοσης φωτοβολταϊκού πάρκου στο νησί της Κρήτης	50
5.3.1	Το φωτοβολταϊκό πάρκο	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

6.1	Επιθεώρηση και πιστοποίηση έργων κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων	53
6.2	Πιστοποίηση σε όλες τις φάσεις κατασκευής ενός φ/β συστήματος	54
6.3	Πιστοποίηση ποιότητας γραμμής παραγωγής φ/β πλαισίων	55
6.4	Περιπτώσεις εταιρειών και συστήματα πιστοποίησης	56
6.5	Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001 : 2008	58
6.6	Πιστοποίηση συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συπεράσματα	61
--------------------------	-----------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
---------------------------	-----------

Εισαγωγή

Το φωτοβολταϊκό (ΦΒ) φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1839 από τον φυσικό Edmund Bequerel πάνω σε ηλεκτρολυτικά υγρά. Ο ρόλος του φαινομένου αυτού και η αξιοποίησή του προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναδείχτηκε μετά από περίπου 100 χρόνια. Συγκεκριμένα το 1954 παρασκευάσθηκε η πρώτη ΦΒ κυψελίδα κρυσταλλικού πυριτίου με απόδοση 4,5% και αμέσως μετά έφτασε το 6%. Ακολούθησε εντατικοποίηση των προσπαθειών για δημιουργία ΦΒ στοιχείων υψηλότερης και σταθερότερης απόδοσης. Στις μέρες μας η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων έχει φτάσει σε ικανοποιητικά επίπεδα προδιαγράφοντας την ευρεία διείσδυσή τους στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας. Τα ΦΒ διακρίνονται για την ανέμη, αποδοτική, ήπια και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι η συμβολή των τριτοβάθμιων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας μας αλλά και παγκοσμίως θα είναι καθοριστική στους τομείς της εκπαίδευσης και της τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης ώστε να αντιμετωπιστεί το μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη.

Στις μέρες μας έχει πλέον καταστεί απολύτως σαφές ότι η ανεξέλεγκτη χρήση ορυκτών καυσίμων ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη με ό,τι συνεπάγεται αυτό (μεταβλητότητα του κλίματος, ακραία φυσικά φαινόμενα, συχνότεροι καύσωνες, καταστροφή οικοσυστημάτων κ.λπ.). Εκείνο όμως που δεν έχει κατανοηθεί πλήρως είναι ότι το πρόβλημα έχει και μία άλλη, εξίσου σημαντική, διάσταση: πέρα από οικολογικό είναι και οικονομικό-ενεργειακό. Οι πλέον αισιόδοξες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα φτάσει στο αποκορύφωμά της στο τέλος της τρέχουσας δεκαετίας, με αποτέλεσμα οι τιμές του μαύρου χρυσού να εκτοξευθούν σε δυσθεώρητα ύψη. Αλλά ούτε και τα αποθέματα γαιανθράκων είναι ανεξάντλητα. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το πετρέλαιο τροφοδοτεί ανά τον κόσμο πολέμους, διαφθορά και τρομοκρατία λόγω της γεωπολιτικής του σημασίας, δείχνει ξεκάθαρα ότι το ενεργειακό-περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη θα μπορούσε να λυθεί μόνο με την άμεση και σταθερή μετάβαση σε μία μεταπετρελαϊκή, μεταανθρακική παγκόσμια οικονομία, η οποία δεν θα επιβαρύνει με νέους ρύπους την ατμόσφαιρα και δεν θα είναι εξαρτημένη από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Εξάλλου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) υπόσχονται όχι μόνο ένα καλύτερο ενεργειακό και περιβαλλοντικό μέλλον, αλλά και περισσότερες θέσεις εργασίας, χαμηλότερη διακύμανση τιμών στη διεθνή αγορά, ενεργειακή ανεξάρτηση από πολυεθνικές εταιρίες που διακινούν πετρέλαιο και δυνατότητα εφαρμογής τους ακόμη και σε αγροτικές ή ημιαγροτικές περιοχές (γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τις χώρες του Τρίτου Κόσμου.) Για την πραγμάτωση αυτού του στόχου δεν αρκούν τα μέτρα που προέβλεπε το γνωστό Πρωτόκολλο του Κιότο. Απαιτούνται μεγαλύτεροι περιορισμοί, αυστηρότερες νομοθεσίες και, το σημαντικότερο, μια άμεση στροφή στις καινοτόμες τεχνολογίες νέων καυσίμων και εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Βιοκαύσιμα, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, ηλιακή- φωτοβολταϊκή ενέργεια, ενέργεια ωκεανών αλλά και <<καθαρή>> πυρηνική ενέργεια είναι μερικές από τις προτεινόμενες λύσεις, οι οποίες βρίσκονται ήδη κοντά σε ένα σημείο καμπής, στο κρίσιμο στάδιο της χρηματοδότησης για έρευνα και ανάπτυξη. Το ενθαρρυντικό είναι ότι υπάρχει μεγάλο διεθνές ενδιαφέρον για αυτές τις καινοτόμες τεχνολογίες καυσίμων, ωστόσο δεν έχουν δρομολογηθεί όλες εκείνες οι εξελίξεις που θα μπορούσαν να ανοίξουν τις αγορές στην ανανεώσιμη ενέργεια σε επίπεδο πόλεων και κρατών ανά τον κόσμο.

Η παγκόσμια θέρμανση είναι πλέον πραγματικότητα. Για την αντιμετώπισή της, η καινοτομία στην ενεργειακή τεχνολογία και πολιτική αναδεικνύεται σε αναγκαιώδη παράγοντα. Τα τωρινά επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα- πλησιάζουν τα 400 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα της Γης- είναι υψηλότερα απ' ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή κατά τα τελευταία 650.000 τουλάχιστον χρόνια, αναμένεται δε έως το έτος 2050 να φτάσουν στα 530 ppm εφόσον δεν επιχειρηθεί κάποια ριζική παρέμβαση.

Η Γη χρειάζεται αέρια θερμοκηπίου- στα οποία περιλαμβάνονται οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο- προκειμένου να εμποδίζεται η διαφυγή προς το διάστημα ενός μέρους της θερμότητας από τη λαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία, έτσι ώστε να διατηρείται ο πλανήτης φιλόξενος. Από τα 20 έως τώρα καταγεγραμμένα θερμότερα έτη, σχεδόν όλα σημειώθηκαν από τη δεκαετία του 1980 και εντεύθεν. Ουδείς γνωρίζει τι ακριβώς πρόκειται να συμβεί εάν η κατάσταση αφεθεί ανεξέλεγκτη- βλέπετε, είναι αδύνατον να προβλεφθεί η ακριβής ημερομηνία κατά την οποία ένα πολικό στρώμα πάγου θα ολοκληρώσει τη μετατροπή φάσης που θα το φέρει από τη στερεά κατάσταση στην υγρή, και γι' αυτό οι ομάδες δημοσίου συμφέροντος που τηρούν σκεπτικιστική στάση απέναντι στην παγκόσμια θέρμανση συνεχίζουν να ανοητολογούν για τις αβεβαιότητες της κλιματικής αλλαγής. Αλλά δεν υπάρχει κλιματολόγος που να μην τον τρομάζει το ενδεχόμενο να του δοθεί κάποτε η ευκαιρία να ελέγξει εμπειρικά τι θα συμβεί εάν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα αφεθούν να υπερβούν κατά πολύ τα 500 ppm.

Η αποτροπή της μετατροπής της ατμόσφαιρας από θερμοκήπιο σε φυσικό «θερμαινόμενο θερμοκήπιο» πιθανώς αντιπροσωπεύει την επιβλητικότερη επιστημονική και τεχνική πρόκληση που αντιμετώπισε ποτέ η ανθρωπότητα. Ο αδιάλειπτος συνδυασμός και συντονισμός τεχνικών και πολιτικών πόρων υπεράνω συνόρων επί έναν αιώνα ή και πλέον που θα χρειαστεί για να τεθεί υπό έλεγχο η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κάνει μια αποστολή στη Σελήνη ή το πρόγραμμα Μανχάταν να φαίνονται σχετικώς στοιχειώδη.

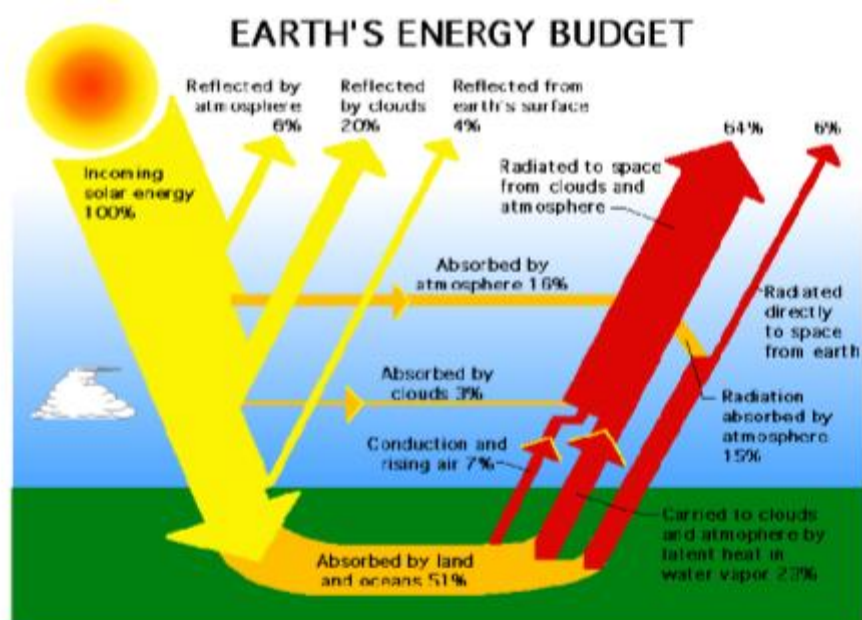
Η κλιματική αλλαγή επιβάλλει μια τεράστια αναδιάρθρωση της παγκόσμιας ενεργειακής οικονομίας. Οι ανησυχίες για τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων δεν προσλαμβάνουν διαστάσεις κρίσεως παρά μόνο όταν λαμβάνεται υπόψη η περιφρούρηση του κλίματος. Το Κιότο πιθανόν να υπήρξε ένα αναγκαίο πρώτο βήμα, έστω και μόνον επειδή έριξε φως στον γεμάτο εμπόδια δρόμο που έχουμε να διανύσουμε. Ωστόσο, η σταθεροποίηση των εκπομπών

άνθρακα θα απαιτήσει ένα πιο χειροπιαστό σχέδιο για την περαιτέρω οικονομική μεγέθυνση ενόσω θα οικοδομείται μια <<αποανθρακοποιημένη>> ενεργειακή υποδομή.

Ίσως κάποια αποφασιστική πρόοδος στις ηλιακές κυψέλες να μας βάλει στη φωτοβολταϊκή εποχή, επιτρέποντας τόσο σε ένα χαλυβουργείο όσο και σε ένα χρήστη κινητού τηλεφώνου να αντλούν όλα τα βατ από μία και μοναδική πηγή. Αλλά αν αυτό δεν συμβεί-και πιθανότατα δεν θα συμβεί- θα απαιτηθούν πολλές τεχνολογίες (βιοκαύσιμα, ηλιακή, υδρογονική και πυρηνική ενέργεια) για να επιτευχθεί ικανοποιητική προσφορά «χαμηλοανθρακικής ενέργειας». Η υπερβολική προσήλωση στη μία ή την άλλη τεχνολογία θα μπορούσε να εκτροχιάσει τη δυναμική μιας βιώσιμης ατζέντας για την αποανθρακοποίηση. Άλλες ριζοσπαστικότερες ιδέες, όπως οι ηλιοηλεκτρικοί σταθμοί στο απώτερο Διάστημα και οι γεννήτριες σύντηξης, ενδέχεται να μπου στην πράξη αν οι προφήτες του σήμερα αποδειχθούν κοντόφθαλμοι έπειτα από 50 χρόνια.

Κεφάλαιο 1 - ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται στον ήλιο. Φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας, διαμέσου του διαστήματος, και στη συνέχεια κατά τη διέλευσή της από την ατμόσφαιρα υπόκειται σε σημαντικές αλλαγές, που οφείλονται στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα σημείο στην επιφάνεια της γης μια δεδομένη χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται από την ένταση και την διεύθυνση πρόσπτωσης. Στην επιφάνεια της γης φτάνει μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία), ενώ το υπόλοιπο είτε απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας είτε ανακλάται πάλι προς το διάστημα ή προς την επιφάνεια της γης. Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετά από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και καλείται διάχυτη ακτινοβολία.



Εικόνα 1

Η γη δέχεται ετήσια ηλιακή ενέργεια με ακτινοβολία της τάξης του $173 \times 10^{15} \text{ W}$. Σε ένα 24ωρο κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της γης δέχεται κατά μέσο όρο 4-6 KWh ηλιακής ενέργειας με ακτινοβολία 800-2500 KWh/m² ετησίως. Η ποσότητα αυτή είναι περίπου η διπλάσια από αυτή που θα μπορούσε ποτέ να ληφθεί από το σύνολο των μη ανανεώσιμων πηγών της Γης (πχ. Φυσικό αέριο, άνθρακα κτλ) και περισσότερη από αυτή που καταναλώνει

σήμερα ο άνθρωπος σε ένα χρόνο.⁴Γι αυτό κρίνεται σκόπιμη η πρακτική εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

1. την άμεση παραγωγή θερμότητας, με ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα. Αν η παραγόμενη θερμότητα είναι υψηλής θερμοκρασίας, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια μηχανικής ενέργειας (με ατμοστρόβιλους). Η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε αυτή τη περίπτωση αναφερόμαστε σε θερμική παραγωγή ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια.⁵
2. την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο τρόπους: θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού και μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση ατμοστρόβιλων.⁶ Η δεύτερη εφαρμογή θα αναλυθεί λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

❖ Πλεονεκτήματα χρήσης της ηλιακής ενέργειας:

- Αποτρέπεται η κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προκαλούν τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές.⁷
- Το φως του ήλιου είναι δωρεάν και διαθέσιμο σε όλο τον πλανήτη. Είναι ανανεώσιμη πηγή και δεν πρόκειται να εξαντληθεί.
- Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερώνεται αργά και σταδιακά.⁸
- Η τοποθέτηση ενός ηλιακού συστήματος είναι απλή. Η δε συντήρηση που απαιτεί είναι ελάχιστη⁹ ενώ η ανθεκτικότητα τους φτάνει τα 25 και άνω έτη λειτουργίας.
- Πρόκειται για απλή και συμφέρουσα λύση καθώς με τη πάροδο του χρόνου τα ηλιακά συστήματα τείνουν να “πληρώνονται μόνα τους” .(μέσος χρόνος αποπληρωμής 4 ετών)
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μηχανήματα μικρής κλίμακας όσο και μεγάλης.
- Είναι η εναλλακτική ενέργεια που φαίνεται ότι μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις ανάγκες του μέλλοντος.
- Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι γενικώς αθόρυβα.
- Τα black-out είναι σπάνια
- Πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να επανατροφοδοτήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

- Το κόστος δε μεταβάλλεται με τη πάροδο του χρόνου όπως συμβαίνει πχ με τα ορυκτά
- Η ηλιακή τεχνολογία είναι μια καθ'όλα ώριμη, δοκιμασμένη και αξιόπιστη τεχνολογία.
- Είναι ιδανική για απομονωμένες περιοχές, μακριά από γεννήτριες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρισμού ακόμα κι όταν έχει συννεφιά.
- Η ενέργεια δε χάνεται κατά τη μεταφορά από τα κεντρικά σημεία, όταν τα καταναμημένα συστήματα βρίσκονται σε λειτουργία.
- Το πυρίτιο το οποίο χρησιμοποιείται για ημιαγωγούς είναι το δεύτερο σε αφθονία ορυκτό στο πλανήτηκάύσιμα.

Κεφάλαιο 2 – Φωτοβολταϊκό σύστημα

2.1. Τι είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν έχει μορφή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως συνεχές ρεύμα ή να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή ακόμη και να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη στιγμή.

Το βασικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το ηλιακό στοιχείο το οποίο αποτελείται από ημιαγωγό, συνήθως, πυρίτιο. Δεν υπάρχουν κινητές μονάδες σε ένα ηλιακό στοιχείο, η λειτουργία του είναι φιλική προς το περιβάλλον και, αν η συσκευή προστατεύεται σωστά από τις καιρικές συνθήκες, δεν πρόκειται να υποστεί φθορά σε βάθος χρόνου.

Καθώς το ηλιακό φως διαχέεται σε ολόκληρο τον πλανήτη, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να παράγουν ενέργεια οπουδήποτε. Επειδή η πηγή ενέργειας θα διαρκέσει για εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια και είναι πολύ δύσκολο να παρέμβουμε στη μεταφορά της, τα φωτοβολταϊκά αναμένεται να αποτελέσουν μακροπρόθεσμα μια πολύ σημαντική πηγή ενέργειας παγκοσμίως.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ευέλικτα και εύχρηστα, επομένως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειάς τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν για οποιαδήποτε εφαρμογή, από ρολόγια χειρός, αριθμομηχανές, συστήματα τηλεπικοινωνιών και μικρούς φορτιστές μπαταρίας έως τεράστιες κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας που λειτουργούν μόνο με ηλιακή ενέργεια.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατασκευαστούν με τη σταδιακή πρόσθεση πάνελ, που προσαρμόζονται εύκολα, σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, όπως είναι οι πυρηνικοί σταθμοί ή οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας, που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα, οι οποίοι, για να είναι οικονομικά βιώσιμοι, θα πρέπει να έχουν τη μορφή και το μέγεθος εργοστασιακών μονάδων παραγωγής πολλών MegaWatt .

Η όλη κατασκευή του φωτοβολταϊκού πλαισίου (φωτοβολταϊκό φύλλο) είναι ειδικά σχεδιασμένη για υψηλή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και εγκατάσταση σε περιβάλλον δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών, αποτελούμενο από «στρώματα»

διαφορετικών στρώσεων υλικών (επικαλύψεις), καθένα από τα οποία λειτουργεί προστατευτικά. Τα στοιχεία που συγκροτούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ενθυλακώνονται σε λεπτό διαφανές στρώμα EVA. Η εμπρόσθια επιφάνεια καλύπτεται από ενισχυμένο λευκό γυαλί διαύγειας νερού και η οπίσθια, με ειδικό film PVF. Το μεταλλικό πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από ανοδιωμένο αλουμίνιο και περιβάλλει το «φωτοβολταϊκό φύλλο». Μεταξύ των δύο, παρεμβάλλεται ελαστικό παρέμβυσμα βουτυλίου, προσδίδοντας ελευθερία μικροκινήσεων και προστασία από θερμικές συστοδιαστολές.

Η κατασκευή πρέπει να είναι ιδιαιτέρως ανθεκτική στην υγρασία, την ατμόσφαιρα υψηλής περιεκτικότητας σε άλμη, τις δυνατές κρούσεις χαλαζόπτωσης και τις θερμικές καταπονήσεις.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε μεταλλικά στηρίγματα κατασκευασμένα από profil αλουμινίου ή από σιδερογωνιές γαλβανισμένες εν θερμώ, ώστε να εξασφαλίζουν αντοχή στην διάβρωση. Όλα τα στηρίγματα συνδέονται με χρήση ανοξειδωτων και περικοχλίων ασφαλείας .

2.2. Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Σε σχέση με το βαθμό ενσωμάτωσής τους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

α) τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια (πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων), τα οποία αποτελούν την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω σε στέγες κτιρίων ή σε πολύ μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο και η κατασκευή τους βασίζεται σε μέθοδο πολυστρωμάτωσης.

β) ημιπερατά φωτοβολταϊκά πλαίσια (κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού-γυαλιού) που επιλέγονται στις περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, όχι μόνο λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού τους, αλλά και γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες,

Με βάση το υλικό κατασκευής τους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χωρίζονται σε:

α) φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon) (βλ. Εικόνα 3). Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στη βιομηχανική κατασκευή τους κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοση επιφάνεια ή ενεργειακής πυκνότητας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Και τα δύο βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.



Εικόνα 3. Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

β) φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multi Crystalline Silicon) (βλ. Εικόνα 4). Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13% έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).



Εικόνα 4. Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

γ) φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous) (βλ. Εικόνα 5). Τα φωτοβολταϊκά αυτά στοιχεία, 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) πάνω σε υπόστρωμα

υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι το 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).



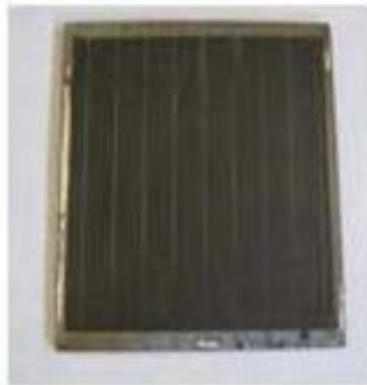
Εικόνα 5. Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου

δ) φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού φιλμ (thin film): δ1) δισηληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe_2 ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS) (βλ. Εικόνα 6). Ο Δισηληνοϊνδιούχος 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 γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).



Εικόνα 6. Φωτοβολταϊκό στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού

δ2) τελουριούχο Κάδμιο (CdTe) (βλ. Εικόνα 7). Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό χάσμα γύρω στο 1eV 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%.



Εικόνα 7. Φωτοβολταϊκό στοιχείο τελουριούχου καδμίου

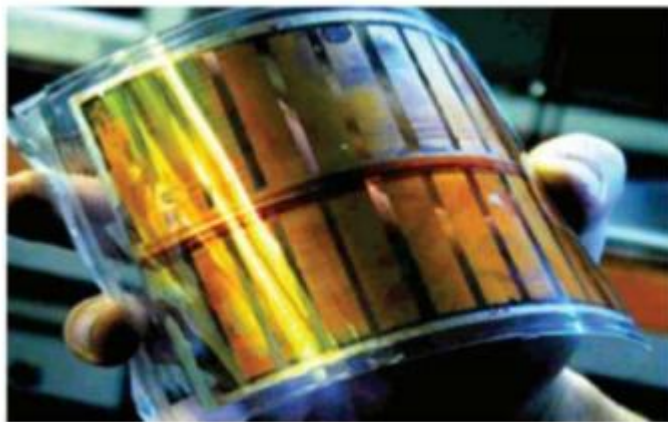
δ3) αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs) (βλ. Εικόνα 8). Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών επαφών (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.



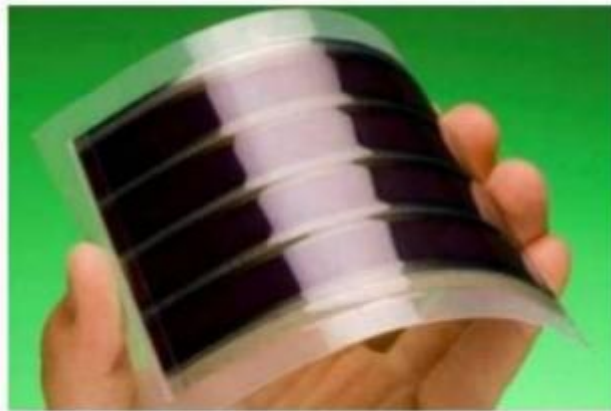
Εικόνα 8. Φωτοβολταϊκό στοιχείο αρσενικούχου γαλλίου.

ε) οργανικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (βλ. Εικόνα 9). Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ανόργανα, παρόλα αυτά όμως έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια τις τελευταίες δεκαετίες για την ανάπτυξη οργανικών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Μια σημαντική διαφορά σε σχέση με τους ανόργανους ημιαγωγούς είναι η μικρότερη (μερικές τάξεις μεγέθους μικρότερη) κινητικότητα των φορέων φορτίου, η οποία έχει σοβαρές επιπτώσεις στην απόδοση των οργανικών ημιαγωγικών συσκευών. Ωστόσο, οι οργανικοί ημιαγωγοί έχουν σχετικά υψηλό συντελεστή απορρόφησης, η οποία εν μέρει εξισορροπεί τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χαμηλή κινητικότητα, δίνοντας μεγάλη απορρόφηση ακόμα και σε πολύ λεπτές συσκευές.



Εικόνα 9. Οργανικό φωτοβολταϊκό κύτταρο.

στ) ευαισθητοποιημένες ηλιακές κυψελίδες (dye-sensitized) (βλ. Εικόνα 10). Η ιδέα της ευαισθητοποίησης του ημιαγωγού μιας φωτοηλεκτροχημικής ηλιακής κυψελίδας προέκυψε από την ανάγκη να παρασκευαστεί μια κυψελίδα, η οποία θα είναι χημικά σταθερή υπό συνεχή φωτισμό και θα απορροφά στην ορατή περιοχή του φάσματος. Πολλά οξειδία μετάλλων ικανοποιούν την πρώτη απαίτηση, όμως τα περισσότερα απορροφούν στην υπεριώδη περιοχή. Η επέκταση του φάσματος απορρόφησης αυτών των ημιαγωγών πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της ευαισθητοποίησής τους.



Εικόνα 10. Εύκαμπτη ευαισθητοποιημένη κυψελίδα.

2.3. Τρόπος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος

Η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα οφείλεται στην ιδιαίτερη συμπεριφορά ορισμένων υλικών, όταν πάνω τους πέφτει ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, στοιχεία όπως το γερμάνιο, το σελήνιο και το πυρίτιο αποτελούν τη βάση για τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία παράγουν ρεύμα για την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι της τάξης του δέκα τοις εκατό (10%), που σημαίνει ότι ένα τεράστιο ποσό ενέργειας διαφεύγει (Κουτσούμπας, 2006).

Το ηλιακό φως είναι μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος, τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας. Όταν λοιπόν προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής βασίζεται η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού (Σύνδεσμος Εταιριών).

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποδίδει περισσότερο κατά τους θερινούς μήνες λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας και τους χειμερινούς μήνες με συννεφιά, λιγότερο. Συνεπώς, δεν έχει σημασία τι καιρό έχει κάθε ημέρα λειτουργίας ξεχωριστά, αλλά πόση ηλιακή ακτινοβολία σωρευτικά συγκεντρώνεται ανά σημείο κατά μία συγκεκριμένη διάρκεια. Γενικά, η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε σχέση με τη γεωγραφική του θέση, εκτιμάται σύμφωνα με μέσες τιμές ετήσιας ενεργειακής απόδοσης, που προκύπτουν από επίσημες πηγές καταμέτρησης. Η συνολική απόδοση, όμως, του φωτοβολταϊκού συστήματος θα εξαρτηθεί και από την επιλογή εξοπλισμού και μηχανισμών εγκατάστασης .

2.4. Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι:

- ❖ Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- ❖ Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- ❖ Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- ❖ Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- ❖ Είναι βαθμωτά συστήματα δηλαδή μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- ❖ Λειτουργούν αθόρυβα. Εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον. ☑ Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- ❖ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

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

φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών του κάθε ενδιαφερόμενου, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής του ευχέρειας.

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα: 1) μηδενική ρύπανση, 2) αθόρυβη λειτουργία, 3) αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια), 4) ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, 5) δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, και 6) ελάχιστη συντήρηση. Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

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

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5 - 10%.

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

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς

ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποια ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις έξυπνες επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν την εικόνα των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυγμένες αγορές (όπως η ιαπωνική και η γερμανική) τα φωτοβολταϊκά είναι πλέον μοντέρνα και απαραίτητα για κάθε νέα κτηριακή εφαρμογή (www.4green.gr).

2.5 Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

- Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πριν λίγο ο κυριότερος λόγος για τη στασιμότητα της ελληνικής αγοράς φ/β, (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης φ/β kWh).
- Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κλοβατώρας.
- Ο απαραίτητος περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό για να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση (αιθάλη, σκόνη, αλάτι θαλάσσης κτλ).
- Υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών με ανεμογεννήτριες και συμβατικές μηχανές παραγωγής λόγω ετεροχρονισμού φορτίου και παραγωγής.

Κεφάλαιο 3 -Εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα έχουν την δυνατότητα της άμεσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (ηλιακός συλλέκτης), το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (για αυτόνομα συστήματα), και τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλιακά πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που διατίθενται στο εμπόριο είναι κυρίως επιπέδου τύπου. Η ονομαστική ισχύς τους είναι από 10 W έως 30 W.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν σήμερα ώριμη τεχνολογία, με πλήθος εφαρμογών παγκοσμίως. Σε σύγκριση με τις άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και την εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας πλήθος νησιωτικών κυρίως περιοχών μη συνδεδεμένων με το δίκτυο της Δ.Ε.Η και αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, κυρίως σε τουριστικές περιοχές.

Αξίζει ν' αναφερθούν τρεις νέες εφαρμογές στον τομέα των Φωτοβολταϊκών που δείχνουν την τάση των νέων τεχνολογιών, αλλά και τη δυνατότητα μεγαλύτερης εκμετάλλευσης του ηλιακού δυναμικού. Η μία αφορά ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 5 KWp στο αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος», η άλλη τα Φ/Β διπλής όψης από τις διαστημικές αποστολές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και η τρίτη το ηλιακό πάρκο της Google Inc, ισχύος 1,6 MW στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α.

Το πρώτο σύστημα εγκαταστάθηκε τον Ιούνιο του 2004 σε σταθμό του προαστιακού στον εθνικό αερολιμένα «Ελευθέριος Βενιζέλος» αποτελείται από σαράντα οκτώ (48) συλλέκτες της Schott Solar, πολυκρυσταλικού πυριτίου, τύπου ASE -105 και ισχύος 105 Wp έκαστος.

Στην όλη εγκατάσταση δόθηκε έμφαση στην ενημέρωση του επιβατικού κοινού, στη διάθεση του οποίου υπάρχουν δύο μεγάλες ψηφιακές οθόνες της Rosendale που προβάλλουν πληροφορίες για τα πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας και για την ενέργεια που παράγεται από το εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Όσον αφορά τα οφέλη της εγκατάστασης, εξοικονομήθηκαν περίπου 15.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας σε δύο χρόνια, ενώ η αντίστοιχη αποτροπή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε μια εικοσαετία υπολογίζεται σε 112, 5 τόνους,

ποσότητα που θα απαιτούσε 500 δένδρα για να απορροφηθεί στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Το δεύτερο αφορά τη νέα τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών διπλής όψης, η οποία εξασφαλίζει κατά 100% αξιοποίηση του ήλιου. Η τεχνολογία αυτή επινοήθηκε από την εταιρεία Energetech ιδιοκτησίας κ. Χ. Βούρου, από τις διαστημικές αποστολές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.

Σύμφωνα με τον κ. Βούρο «Η απόδοση των Φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκεια που το φωτοβολταϊκό σύστημα βλέπει τον ήλιο κάθετα. Επειδή η θέση του ήλιου μεταβάλλεται συνεχώς ως προς το μέγιστο ύψος και τη διαδρομή (Ανατολή – Δύση), κατάσταση που διαρκεί όλο τον χρόνο.

Τα Φ/Β παραμένουν σταθερά με νότιο προσανατολισμό και είναι ενεργά μόνο στην εμπρόσθια όψη (όπως συμβαίνει μέχρι σήμερα). Εκμεταλλευόμαστε μέρος μόνο της ενέργειας που θα μπορούσαμε να λάβουμε.»

Έτσι ο κατασκευαστής του Φωτοβολταϊκού συστήματος διπλής όψης, ενεργοποίησε και την πίσω επιφάνεια του πλαισίου, αντικαθιστώντας το πλαστικό με τζάμι, ώστε η κυψέλη του Φωτοβολταϊκού να είναι ενεργοποιημένη μπρος και πίσω.

Με τον τρόπο αυτό εάν η εμπρόσθια πλευρά παράγει ισχύ 100 W, η οπίσθια παράγει άλλα 50W εκμεταλλευόμενη την ανακλώμενη ακτινοβολία από το υπόστρωμα που είναι πίσω από το Φωτοβολταϊκό σύστημα, αλλά και αυτήν που διαχέεται. Στο σύνολό του το Φωτοβολταϊκό διπλής όψης, καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου μπορεί να παράγει μέχρι και 45% περισσότερη ενέργεια.

Η τρίτη εφαρμογή αφορά το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο των Η.Π.Α. Το σύστημα θα αποτελείται από 9212 συλλέκτες ηλιακής ενέργειας και θα έχει συνολική παραγωγική ικανότητα 1,6 MW, η οποία επαρκεί για την ηλεκτροδότηση 1000 νοικοκυριών.

Όπως ανέφερε εκπρόσωπος της εταιρείας Google, το ηλιακό αυτό πάρκο θα καλύπτει το 30% των ενεργειακών αναγκών στα κεντρικά γραφεία της εταιρείας. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε χρήμα θα είναι της τάξης των 393.000 δολαρίων ετησίως. Το εντυπωσιακό όμως για την προστασία του περιβάλλοντος είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 1,8 εκατομμύρια κιλά ετησίως.

Παρά την τεχνολογική πρόοδο των Φωτοβολταϊκών συστημάτων από την εφεύρεση τους πριν από 30 χρόνια μέχρι σήμερα, το κόστος της ηλιακής ενέργειας στις Η.Π.Α, παραμένει δυο με τρεις φορές υψηλότερα από ό,τι η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα. (http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=3702).

Κεφάλαιο 4- Απόδοση φωτοβολταϊκών πλαισίων και συστημάτων

4.1 Εισαγωγή

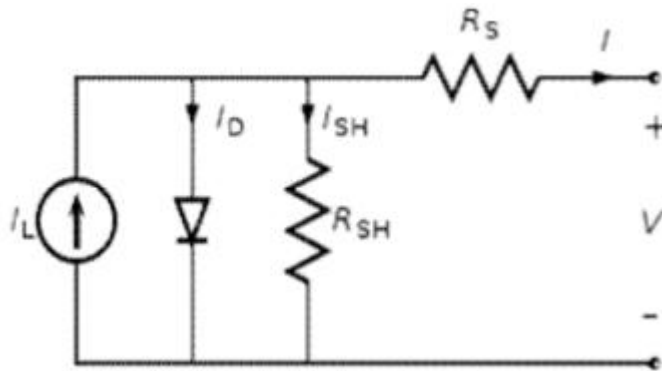
Η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου χαρακτηρίζεται ικανοποιητική ανάλογα με την απόδοση του. Γι' αυτό, ο βαθμός απόδοσης του κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες σωστής λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο αναμενόμενος βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου δίνεται από το φυλλάδιο του κατασκευαστή και έχοντας τον βαθμό απόδοσης αναφοράς μπορεί να παρατηρηθεί κάποιο σφάλμα στην λειτουργία του. Ωστόσο, για να οριστεί ο βαθμός απόδοσης είναι απαραίτητο πρώτα να δοθεί μια λεπτομερής περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος της ηλιακής κυψέλης για να κατανοηθεί περαιτέρω ο τρόπος λειτουργίας της.

4.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ηλιακής κυψέλης

Για να κατανοηθεί η ηλεκτρική συμπεριφορά των ηλιακών κυψελών, είναι χρήσιμο να δημιουργηθεί ένα πρότυπο το οποίο είναι ηλεκτρικά ισοδύναμο, και βασίζεται σε διακριτά ηλεκτρικά στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά είναι γνωστή. Ένα ιδανικό ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να διαμορφωθεί από μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια δίοδο. Στην πράξη καμία ηλιακή κυψέλη δεν είναι ιδανική, έτσι, μια παράλληλη αντίσταση και μια αντίσταση σε σειρά προστίθενται στο μοντέλο.

4.2.1 Μη ιδανική ηλιακή κυψέλη

Μία ηλιακή κυψέλη μπορεί να παρασταθεί με το παρακάτω ισοδύναμο ηλεκτρολογικό κύκλωμα, το οποίο αποτελείται από μια πηγή ρεύματος, μια ιδανική δίοδο επαφής **P-N**, μια σε σειρά αντίσταση και μια παράλληλη αντίσταση.



Εικόνα 11 : Ισοδύναμο κύκλωμα μη ιδανικής ηλιακής κυψέλης

Από το ισοδύναμο κύκλωμα είναι προφανές ότι το ρεύμα εξόδου I της ηλιακής κυψέλης είναι ίσο με την διαφορά του ρεύματος που παράγεται από την πηγή ρεύματος I_L , του ρεύματος που ρέει μέσω της διόδου I_D και του ρεύματος που ρέει μέσω της παράλληλης αντίστασης I_{SH} :

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (\text{A}) \quad (1)$$

ή αλλιώς

$$I = I_L - I_{SH} \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+R_S I}{R_{SH}} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

όπου:

V είναι η τάση στα άκρα της διόδου,

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία της ηλιακής κυψέλης σε K° ,

k είναι η σταθερά του Boltzmann,

n είναι ο συντελεστής ιδανικότητας της διόδου και παίρνει τιμές 1 ή 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής, q είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου.

Όταν η ηλιακή κυψέλη λειτουργεί στο ανοικτό κύκλωμα, τότε $I = 0$ και η τάση σε όλους τους ακροδέκτες εξόδου ορίζεται ως η τάση ανοικτού κυκλώματος. Η V_{oc} είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος της ηλιακής κυψέλης και προκύπτει από την σχέση 2 για $I=0$. Όταν $I=0$, όλο το φωτόρευμα περνά μέσα από τη διόδο D της εικόνας 11 και:

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_{SH}} + 1 \right) \quad (V) \quad (3)$$

Ομοίως, όταν η ηλιακή κυψέλη λειτουργεί σε βραχυκύκλωμα, τότε $V = 0$ και το ρεύμα I ορίζεται ως το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Το I_{SC} είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης της ηλιακής κυψέλης και προκύπτει από την σχέση 2 για $V=0$:

$$I_{SC} = I_L - I_{SH} \left(e^{\frac{qR_S I_{SC}}{nkT}} - 1 \right) - \frac{R_S I_{SC}}{R_{SH}} \quad (A) \quad (4)$$

4.2.2 Ιδανική ηλιακή κυψέλη

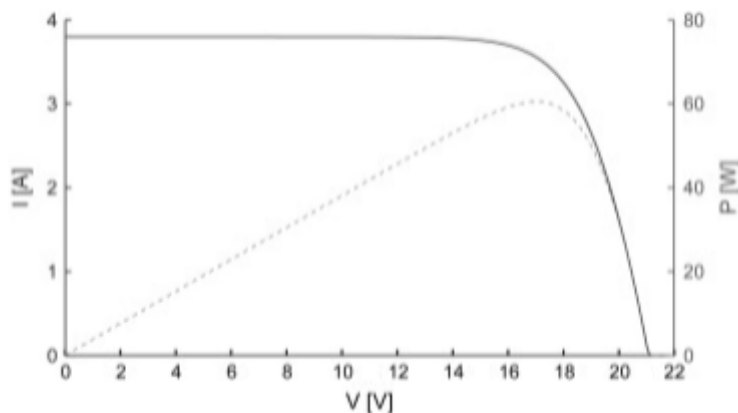
Σε μια ιδανική ηλιακή κυψέλη, η αντίσταση R_S είναι περίπου ίση με το μηδέν και η R_{SH} είναι άπειρη. Το ρεύμα εξόδου τότε είναι:

$$I = I_L - I_{SH} (e^{qV/nkT} - 1) \quad (A) \quad (5)$$

Στην περίπτωση της ιδανικής ηλιακής κυψέλης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} είναι ίσο με το φωτόρευμα I_L και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} είναι ίδια με αυτή της μη ιδανικής:

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_{SH}} + 1 \right) \quad (V) \quad (6)$$

Η γραφική παράσταση μεταξύ του ρεύματος εξόδου (I) και της τάσης εξόδου (V) μιας ηλιακής κυψέλης ονομάζεται I - V χαρακτηριστική και παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο. Μια τέτοια αντιπροσωπευτική καμπύλη παρουσιάζεται στην εικόνα 12:



Εικόνα 12: Χαρακτηριστική I - V της ηλιακής κυψέλης.

Η ισχύς που παράγει μια ηλιακή κυψέλη είναι $P=VL$ (W) (7)

όπου: V είναι η τάση στην έξοδο,

I είναι το ρεύμα στην έξοδο.

Η μέγιστη ισχύς P_{max} επιτυγχάνεται όταν το γινόμενο IV είναι μέγιστο:

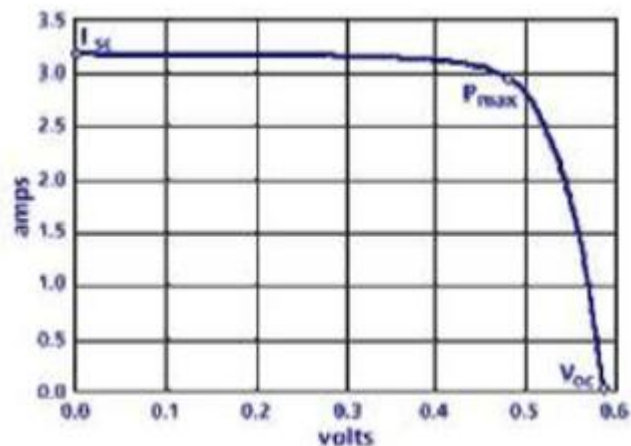
$$P_{max}=V_m I_m$$
 (W) (8)

όπου:

V_m είναι η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος,

I_m είναι το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος.

Στην εικόνα 13 φαίνεται το σημείο μέγιστης ισχύος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοιχτού κυκλώματος. Η μέγιστη ισχύς P_m ισούται με το εμβαδό του ορθογωνίου $I_m V_m$ και αναφέρεται ως ονομαστική ισχύς της ηλιακής κυψέλης.



Εικόνα 13 : Χαρακτηριστική I-V της ηλιακής κυψέλης με τις κυριότερες παραμέτρους

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{max} προς το γινόμενο του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοιχτού κύκλωσης, ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης **FF** (Fill Factor). Συνήθως, οι τιμές, που λαμβάνει, κυμαίνονται από 0,7 και 0,85. Ο συντελεστής πλήρωσης είναι:

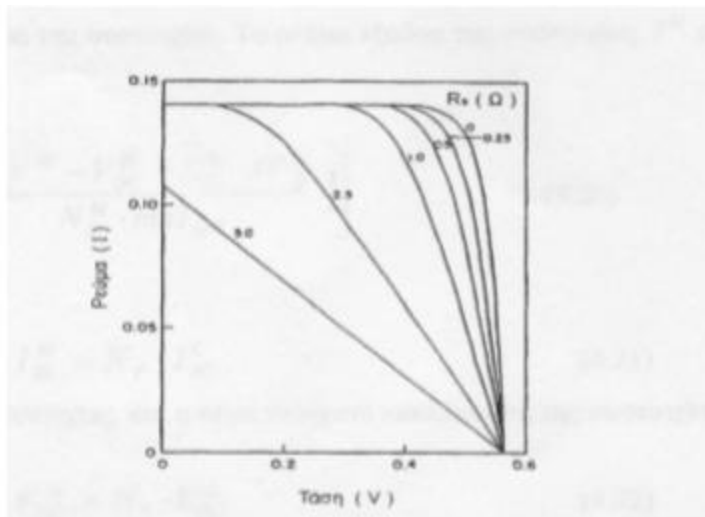
$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC}I_{SC}} \quad (9)$$

Η ισχύς εξόδου μιας ηλιακής κυψέλης επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

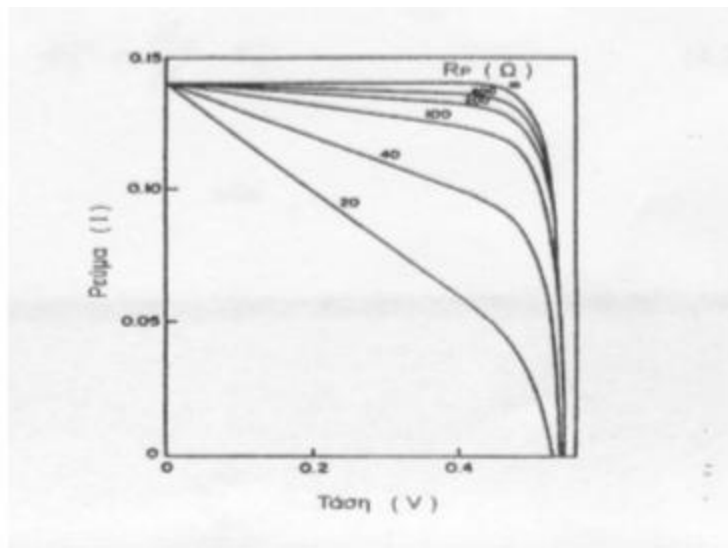
- Αντίσταση σειράς
- Παράλληλη αντίσταση
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
- Θερμοκρασία

Οι αντιστάσεις ονομάζονται εσωτερικές παράμετροι της ηλιακής κυψέλης διότι σχετίζονται με τον τρόπο κατασκευής της, ενώ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τις εξωτερικές παραμέτρους.

Η αντίσταση σειράς αντιπροσωπεύει τις ωμικές απώλειες της κυψέλης λόγω των μεταλλικών επαφών της. Αυξάνοντας την τιμή της αντίστασης σειράς, το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται και άρα μειώνεται και η ισχύς εξόδου της ηλιακής κυψέλης (εικόνα 13). Η παράλληλη αντίσταση οφείλεται στο ρεύμα διαρροής της επαφής. Αν αυξηθεί η τιμή της παράλληλης αντίστασης, το εμβαδό του ορθογωνίου της ισχύς εξόδου μεγαλώνει και άρα αυξάνεται η ισχύς εξόδου (εικόνα 14).

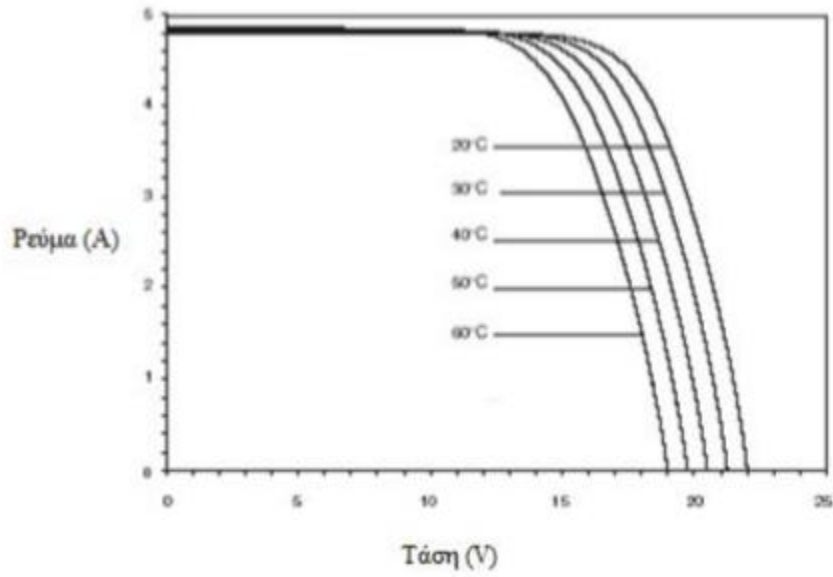


Εικόνα 13: Χαρακτηριστικές I-V σε συνάρτηση με την αντίσταση σειράς

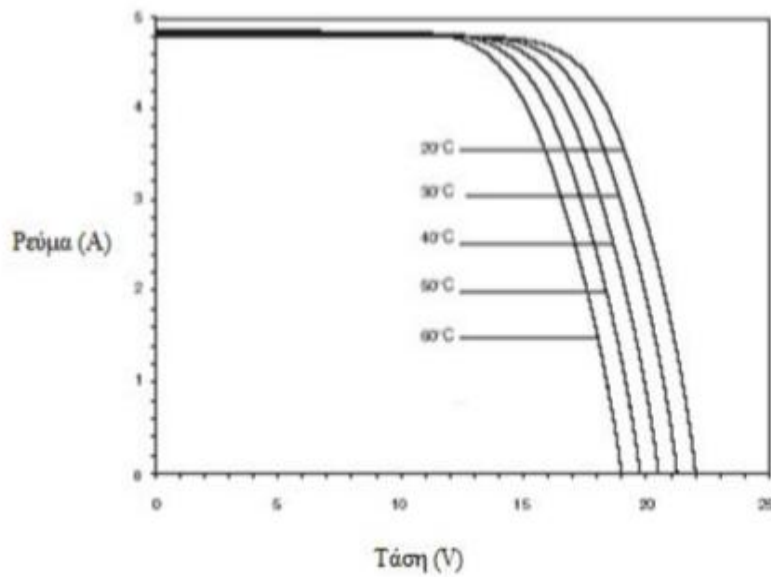


Εικόνα 14: Χαρακτηριστικές I-V σε συνάρτηση με την παράλληλη αντίσταση

Η ισχύς εξόδου της ηλιακής κυψέλης αποκτά υψηλότερες τιμές με την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, επειδή τόσο το ρεύμα βραχυκύκλωσης όσο και η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνονται (Εικόνα 15). Όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, παρατηρείται μια μικρή αύξηση του φωτορεύματος και μείωση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος. Όμως, η ισχύς εξόδου της κυψέλης τελικά μειώνεται (Εικόνα 16). Από τις εικόνες 15 και 16 φαίνεται, ότι το σημείο μέγιστης ισχύος εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασιακή μεταβολή της ηλιακής κυψέλης. Επίσης, παρατηρείται ότι η παραγόμενη ισχύς από την ηλιακή κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός. Ένα σημαντικό γνώρισμα των ηλιακών κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη ηλιακής κυψέλης είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την ένταση του φωτός.



Εικόνα 15: Χαρακτηριστικές I-V σε συνάρτηση με την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας



Εικόνα 16 :Χαρακτηριστικές I-V σε συνάρτηση με την θερμοκρασία

4.3 Απόδοση ηλιακής κυψέλης

Οι βασικές παράμετροι για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της λειτουργίας των ηλιακών κυψελών είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοικτού κυκλώματος. Ο όρος βαθμός απόδοσης αναφέρεται στον βαθμό μετατροπής του εισερχόμενου φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια και ορίζεται ως το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδει η ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ισχύ στην επιφάνεια της:

$$\eta_c = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{G A_c} = \frac{FFV_{oc} I_{sc}}{G A_c} \tag{10}$$

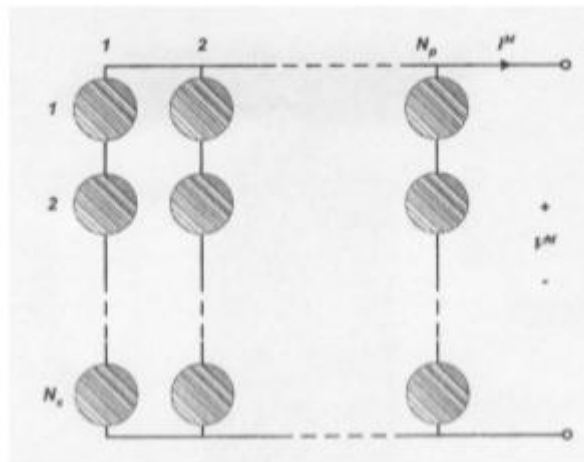
όπου:

G είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία,

A_c είναι το εμβαδόν της επιφάνειας της ηλιακής κυψέλης.

4.4 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από N_p παράλληλους κλάδους με N_s ηλιακές κυψέλες, ο καθένας



Εικόνα 17: Διάταξη φωτοβολταϊκού πλαισίου

Για τα μεγέθη που αναφέρονται στις ηλιακές κυψέλες θα χρησιμοποιείται το γράμμα C (Cell) ενώ για το πλαίσιο το γράμμα M (Module). I^M Το ρεύμα εξόδου του πλαισίου τότε είναι:

$$I^M = I_{SC}^M \left(1 - e^{-\frac{q(V^M - V_{OC}^M + R_S^M I^M)}{N_S^M n k T}} \right) \quad (A)$$

(11)

Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων που δίνονται από τους κατασκευαστές, αναφέρονται είτε στις ονομαστικές συνθήκες είτε στις πρότυπες συνθήκες αναφοράς STC (Standard Test Conditions). Οι τιμές που αφορούν τις πρότυπες συνθήκες αναφοράς STC (Standard Test Conditions) είναι:

- Θερμοκρασία = 25°C,
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000 W/m².

Ο υπολογισμός του ρεύματος εξόδου I^M του πλαισίου για δεδομένη τάση λειτουργίας V^M , θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας G , γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Το φυλλάδιο προδιαγραφών του κατασκευαστή δίνει τα παρακάτω στοιχεία για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε STC:
 - Μέγιστη ισχύς $P_{max,0}^M$
 - Ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc,0}^M$
 - Τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{oc,0}^M$
 - Αριθμός εν σειρά στοιχείων N_S
 - Αριθμός παράλληλων στοιχείων N_P
 -
2. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζονται τα $P_{max,0}^M$, $I_{sc,0}^M$, $V_{oc,0}^M$ και R_s^C (ο δείκτης 0 αναφέρεται σε STC) από τις μαθηματικές σχέσεις:

$$V_{oc,0}^C = \frac{V_{oc,0}^M}{N_S} \quad (V) \quad (18)$$

$$P_{max,0}^C = \frac{P_{max,0}^M}{N_S N_P} \quad (W) \quad (19)$$

$$I_{SC,0}^C = \frac{I_{SC,0}^M}{N_p} \quad (\text{A}) \quad (20)$$

$$V_{t,0}^C = \frac{nkT}{q} \quad (\text{V}) \quad (21)$$

$$v_{OC,0} = \frac{V_{OC,0}^C}{V_{t,0}^C} \quad (22)$$

$$FF = \frac{v_{OC,0}^{-\ln(v_{OC,0} + 0.72)}}{v_{OC,0} + 1} \quad (23)$$

$$FF_0 = \frac{P_{max,0}^C}{V_{OC,0}^C I_{SC,0}^C} \quad (24)$$

$$r_s = 1 - \left(\frac{FF}{FF_0} \right) \quad (25)$$

$$R_s^C = \frac{r_s V_{OC,0}^C}{I_{SC,0}^C} \quad (\Omega) \quad (26)$$

3. Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των μεγεθών I_{SC}^C, V_{SC}^C, T των ηλιακών κυψελών για τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας (V^M, T_a, G) . Το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται γραμμικά από την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας:

$$I_{SC}^C = \frac{I_{SC,0}^C}{G_0} G \quad (\text{A}) \quad (27)$$

Η θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τη σχέση:

$$T = T_a + \frac{T_{ref} - T_{a,ref}}{G_{ref}} G \quad (28)$$

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος των κυψελών εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία τους:

$$V_{OC}^C = V_{OC,0}^C + c(T - T_0) \quad (\text{V}) \quad (29)$$

όπου: c είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης και συνήθως παίρνει την τιμή 2,3.

$$I^M = N_P I_{SC}^C \left(1 - e^{\frac{(V^M - N_S V_{OC}^C + R_S^C I^M N_S / N_P)}{V_T^C N_S}} \right) \quad (A) \quad (30)$$

4. Μετά την ολοκλήρωση των βημάτων 2 και 3, ο υπολογισμός του ρεύματος εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου γίνεται με τη σχέση:

$$I^M = N_P I_{SC}^C \left(1 - e^{\frac{(V^M - N_S V_{OC}^C + R_S^C I^M N_S / N_P)}{V_T^C N_S}} \right) \quad (A) \quad (31)$$

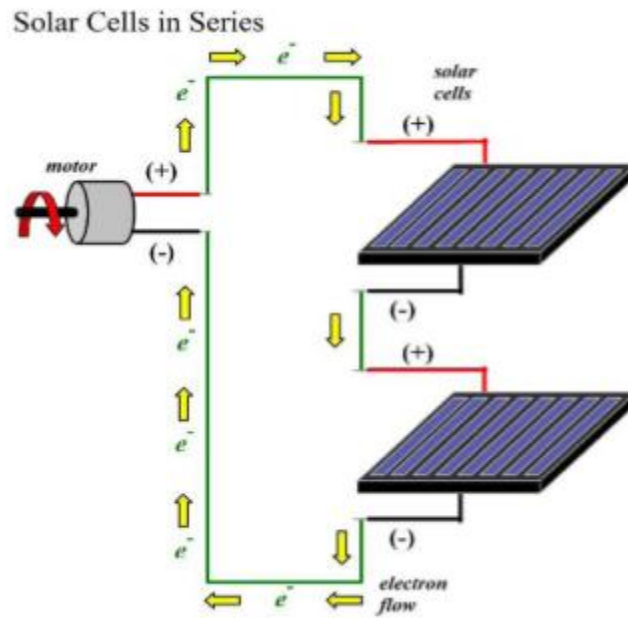
όπου:

$$V_T^C = nk(273 + T)/q \quad (V) \quad (32)$$

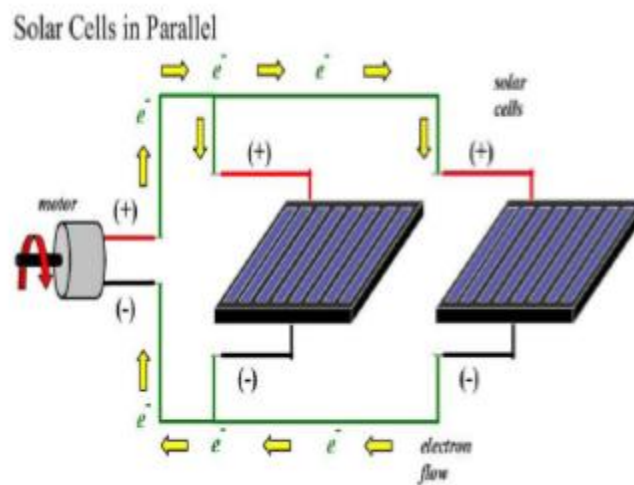
Η ισχύς εξόδου του πλαισίου επομένως είναι:

$$P_{out}^M = V^M I^M \quad (W) \quad (33)$$

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα όπως φαίνεται από στις εικόνες 18 και 19 αντίστοιχα:



Εικόνα 18: Σύνδεση ηλιακών κυψελών σε σειρά



Εικόνα 19: Σύνδεση ηλιακών κυψελών παράλληλα

Στην εικόνα 18 όπου οι ηλιακές κυψέλες είναι συνδεδεμένες σε σειρά, τότε:

$$V = V_1 + V_2 \quad (\text{V}) \quad (34)$$

και

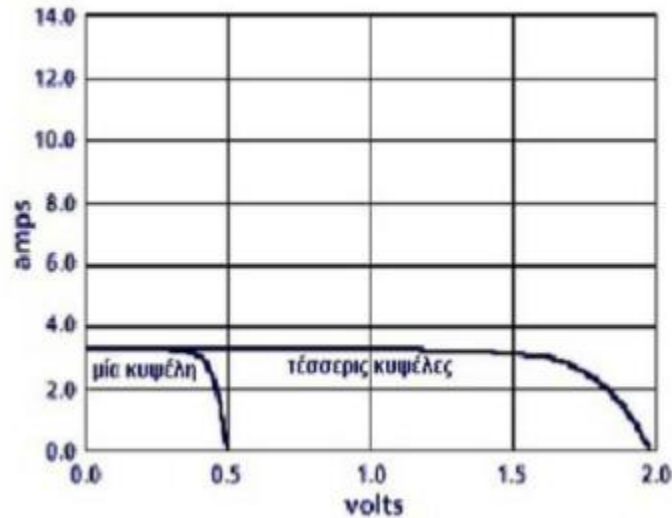
$$I = I_1 = I_2 \quad (\text{A}) \quad (35)$$

Το ρεύμα σε μία εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο της συνδεσμολογίας, ίδιο με αυτό που παράγεται από μία κυψέλη. Εάν μία κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος συνδεθεί σε μια συνδεσμολογία με άλλες κυψέλες που έχουν χαρακτηριστικά υψηλότερου ρεύματος, η συνδεσμολογία θα περιοριστεί στο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος.

Η τάση σε μία εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας όμοιες κυψέλες, η τάση μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$V_{\text{σειρας}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \cdot V_{\text{max μιας κυψέλης}} \quad (36)$$

Η παραγόμενη ισχύς από μία συνδεσμολογία κυψελών ισούται με το ρεύμα της συνδεσμολογίας πολλαπλασιαζόμενο με την τάση της. Οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις, αλλά κάθε μία κυψέλη θα λειτουργεί με το ίδιο ρεύμα όπως και οι άλλες στη συνδεσμολογία. Στην εικόνα 20 φαίνεται πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της εν σειρά συνδεσμολογίας.



Εικόνα 20 : Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά

Για την εικόνα 19 στην οποία οι ηλιακές κυψέλες είναι συνδεδεμένες παράλληλα, τότε:

$$V = V_1 = V_2 \quad (\text{V}) \quad (37)$$

και

$$I = I_1 + I_2 \quad (\text{A}) \quad (38)$$

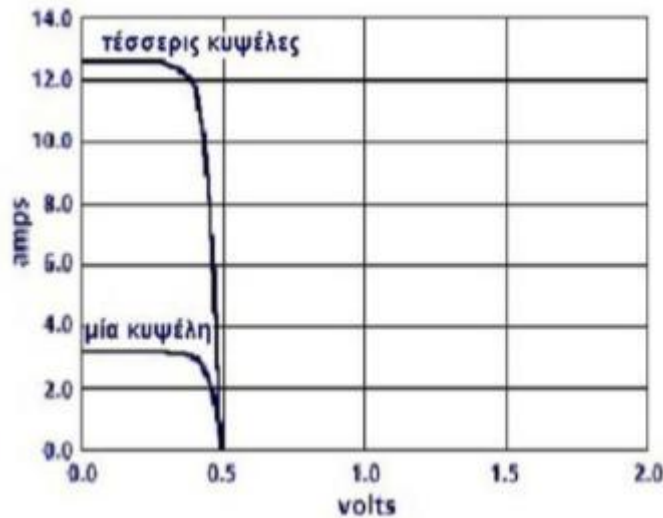
Το παραγόμενο ρεύμα από μια ομάδα κυψελών συνδεδεμένων παράλληλα ισούται με το άθροισμα των μεμονωμένων ρευμάτων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας παρόμοιες κυψέλες, το ρεύμα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) * I_{\text{max}} \text{ μιας κυψέλης} \quad (39)$$

Η τάση μεταξύ δύο κόμβων μιας ομάδας κυψελών συνδεδεμένων εν παραλλήλω είναι ίση με την τάση κάθε κυψέλης.

$$V_{\text{παράλληλα}} = V_{\text{max}} \text{ μιας κυψέλης} \quad (40)$$

Η παραγόμενη ισχύς από κυψέλες εν παραλλήλω είναι ίση με το παράλληλο ρεύμα πολλαπλασιασμένο με την παράλληλη τάση της. Όταν μια ομάδα κυψελών συνδέεται παράλληλα, οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να παράγουν διαφορετικά ρεύματα, αλλά κάθε κυψέλη θα λειτουργεί στην ίδια τάση. Στην εικόνα 21 φαίνεται πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της ομάδας των κυψελών εν παραλλήλω [1-3].



Εικόνα 21: Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

4.5 Αξιολόγηση απόδοσης

Για να αξιολογηθεί η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σημαντικό να ελεγχθούν ορισμένοι παράγοντες όπως είναι η τελική απόδοση, η απόδοση αναφοράς και ο λόγος απόδοσης.

Η τελική απόδοση ενέργειας Y_F για τα φωτοβολταϊκά συστήματα ορίζεται ως το πηλίκο της ολικής ενέργειας εξόδου E και της ονομαστικής ισχύος P_0 όπως ορίζεται από το φυλλάδιο προδιαγραφών του κατασκευαστή. Η τιμή της ενέργειας μπορεί να δοθεί είτε σε AC είτε σε DC. Ο παράγοντας αυτός δίνει την δυνατότητα να συγκριθεί η ενέργεια που παράγεται όσον αφορά το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος με συστήματα διαφορετικού μεγέθους.

$$Y_F = \frac{E}{P_0} \quad (41)$$

Ένας ακόμη χρήσιμος παράγοντας είναι η απόδοση αναφοράς Y_R , η οποία ορίζεται ως το πηλίκο της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας G και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αναφοράς G_{ref} του φωτοβολταϊκού συστήματος. Γενικά, η απόδοση αναφοράς επηρεάζεται από την γεωγραφική τοποθεσία της εγκατάστασης, τον προσανατολισμό του συστήματος και τις ετήσιες καιρικές συνθήκες.

$$Y_R = \frac{G}{G_{ref}} \quad (42)$$

Επιπρόσθετα με την παραγωγή ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, η απόδοση συνδεδεμένων συστημάτων χαρακτηρίζεται από τον λόγο απόδοσης, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της μετρούμενης απόδοσης του συστήματος και της ονομαστικής απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο λόγος απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η τιμή που δίνεται διαιρώντας την απόδοση ενέργειας Y_F με την απόδοση αναφοράς Y_R . Είναι ένας χρήσιμος τρόπος για να ποσοτικοποιηθεί η ολική επίδραση των απωλειών λόγω των συνδέσεων, της θερμοκρασίας, του μετασχηματιστή κ.α.

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (43)$$

Αν και ο λόγος απόδοσης δίνει μια καθολική εικόνα για την συμπεριφορά του συστήματος, είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αναγνώριση κυψελών οι οποίες δεν λειτουργούν κανονικά.

4.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Για να λειτουργήσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιτυχώς κατά τη διάρκεια μιας αναμενόμενης διάρκειας ζωής, απαιτείται έρευνα σε όλες τις πτυχές. Οι εκτιμήσεις ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της απόδοσης τους. Τα αποτελέσματα ερευνών, επίσης, έδειξαν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μείωση μέχρι και 18% της πιθανής ισχύος τους. Η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δυο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ο αέρας, η βροχή, η κάλυψη σύννεφων και η διανομή του ηλιακού φάσματος, επηρεάζουν τη θερμοκρασία, κάτω από την οποία τα συστήματα λειτουργούν, καθώς και την αναμενόμενη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι:

1. Θερμοκρασία

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν ιδανικά συνήθως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C. Τις περισσότερες φορές όμως, η θερμοκρασία του συστήματος υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας διαφέρει σημαντικά κυρίως κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Οι υψηλές θερμοκρασίες της κυψέλης έχουν αρνητική επίδραση στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς δυναμικού της ηλιακής κυψέλης με αποτέλεσμα, όταν ένα φορτίο συνδεθεί στα άκρα του, η διαφορά δυναμικού να είναι αισθητά μειωμένη. Σε περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν σε θερμοκρασίες πάνω από την ενδεικτική τιμή, τότε η δυναμική παραγωγική ενέργεια τους μπορεί να μειώνεται περισσότερο από το 14%. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στην αποτελεσματικότητα των ηλιακών κυψελών και μάλιστα η σχέση των δυο αυτών μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογη.

2. Ηλιακή ακτινοβολία

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε ετήσια βάση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση εγκατάστασης του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφέρεται ο όρος ηλιακή ακτινοβολία εννοείται η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Δηλαδή, δυο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας

ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος μπορούν να προκαλέσουν σε μια κυψέλη διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως να διαμορφώσουν διαφορετικό βαθμό απόδοσης. Η επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρει για τις διάφορες παραμέτρους εξόδου. Η επίδραση μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα λαμβάνοντας υπ' όψιν την διαφορά του ρεύματος και της ηλεκτρικής τάσης που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που οφείλεται στην αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρονίων (λόγω της αυξανόμενης ροής των φωτονίων) και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ.

3. Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου καθότι μεγάλες ταχύτητες, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του. Όταν οι ανεμισμοί είναι ψυχροί, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

4. Ρύπανση

Η ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μειωθεί από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών στην επιφάνειά τους. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κάθετοι), για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βρίσκονται σε μία περιοχή που εκτιμάτε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

5. Σκίαση

Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων, όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό, είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από ηλιακές κυψέλες όμοιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη μιας και μόνο ηλιακής κυψέλης, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Μια σκιασμένη κυψέλη, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η δίοδος, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις υπόλοιπες κυψέλες, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν αστοχίες, μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν οι υπόλοιπες ηλιακές κυψέλες του πλαισίου είναι μεγάλο πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η σκιασμένη κυψέλη λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός μιας κυψέλης σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της κυψέλης αυτής και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης μιας 'κατεστραμμένης' κυψέλης.

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο hot spot (φαινόμενο θερμής κηλίδας). Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (δίοδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυψελών που είναι συνδεδεμένες σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποια ηλιακή κυψέλη του υστερεί ή καταστραφεί.

6. Γήρανση

Λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων (και των υπολοίπων στοιχείων ενός φωτοβολταϊκού συστήματος), αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος [1].

7. Απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος

Πέρα από τους διάφορους παράγοντες που αναφέρονται πιο πάνω, πρέπει κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, να λαμβάνονται υπόψη οι ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κλπ. Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο .

8. Οπτικές απώλειες

Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοείται η διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανακλαστικό επίστρωμα, υλικό φωτοβολταϊκών κυττάρων) σε σχέση με την αντίστοιχη ανακλαστικότητα σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς (STC). Η ανακλαστικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς, αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 60ο. Επιπλέον, οπτικές απώλειες παρατηρούνται λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση της ηλιακής κυψέλης μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των 200 W/m² όπως φαίνεται και στην εικόνα 15. Οι οπτικές απώλειες, αποδεικνύονται μικρής σημασίας για εμπορικά πλαίσια καλής ποιότητας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σημαντικές και υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

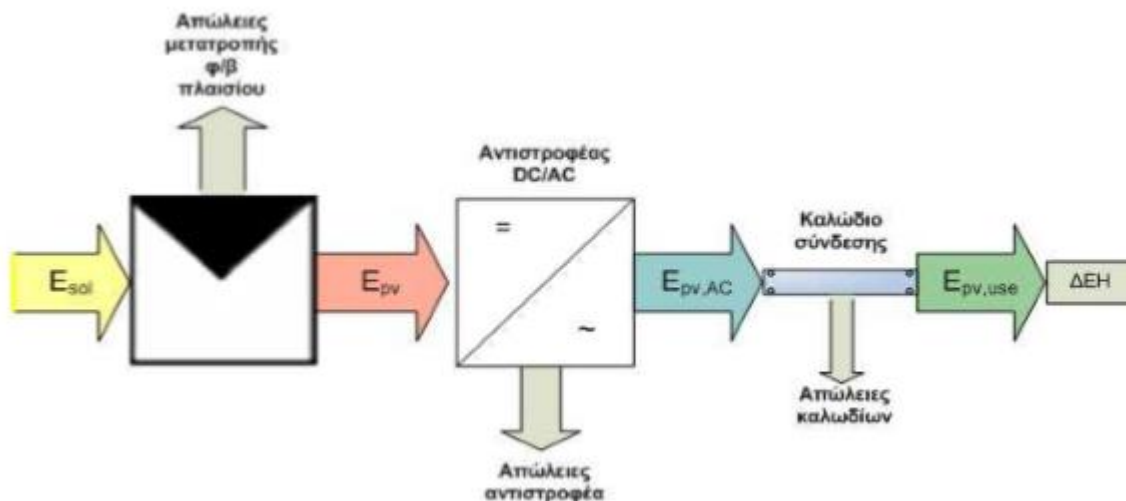
5.1 Διάγραμμα Ροής Ενέργειας Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Το διάγραμμα ροής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου παρουσιάζεται στην εικόνα 22. Η εκτιμώμενη απόδοση της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στη σχέση 43, ισούται με τον λόγο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς την παραγόμενη ενέργεια ακριβώς μετά τον αντιστροφέα, όπου και λαμβάνονται οι μετρήσεις. Να σημειωθεί εδώ ότι ο βαθμός απόδοσης αυτός αφορά το σύνολο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, δηλαδή από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έως και το σημείο σύνδεσης του πολυοργάνου, δηλαδή μετά τον αντιστροφέα. Συνυπολογίζονται λοιπόν οι βαθμοί απόδοσης των πλαισίων, του αντιστροφέα ενώ επίδραση έχουν και οι απώλειες στα καλώδια λόγω την πτώσης τάσης που παρατηρείται κατά την όδευση του ρεύματος από τα πλαίσια μέχρι τον αντιστροφέα

$$n = (E_{sol} / E_{pv,AC}) 100\% \quad (44)$$

όπου : E_{sol} : η προσπίπτουσα ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

$E_{pv,AC}$: η παραγόμενη ενέργεια μετά τον αντιστροφέα.



Εικόνα 22 : Διάγραμμα ροής ενέργειας του διασυνδεδεμένου φ/β πάρκου

Στην εικόνα 22 φαίνεται το διάγραμμα ροής ενέργειας ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού πάρκου, όπου :

$E_{pv,AC}$: Παραγόμενη ενέργεια μετά τον αντιστροφέα DC/AC.

E_{sol} : Ηλιακή ενέργεια.

E_{pv} : Παραγόμενη ενέργεια από φ/β πλαίσια.

$E_{pv,use}$: Ηλιακή ενέργεια προς χρήση – ΔΕΗ.

5.2 Δείκτες Αξιολόγησης του Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Κάποιοι από τους δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι οι παρακάτω:

1. Ηλιακό κλάσμα – Solar Fraction (F_{sol})

Ο δείκτης F_{sol} δίνεται από την εικόνα 44 και μας δίνει την αναλογία σε ποσοστό της χρησιμοποιούμενης ηλιακής ενέργειας $E_{pv,use}$ προς την συνολική ενεργειακή κατανάλωση E_{tot} . Ο δείκτης αυτός αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την σωστή διαστασιολόγηση ενός πάρκου όπου καλείται να εξυπηρετήσει ένα δεδομένο ενεργειακό προφίλ κατανάλωσης.

$$F_{sol} = E_{pv,use} / E_{tot} \quad (45)$$

όπου :

F_{sol} ο δείκτης ηλιακού κλάσματος (%).

$E_{pv,use}$ η AC ενέργεια προς χρήση παραγόμενη από το φ/β πάρκο (kWh/d).

E_{tot} ή E_{Load} η συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh/d)

Ο δείκτης αυτός στα διασυνδεδεμένα συστήματα μπορεί να προσεγγίσει το 100% εάν η ηλεκτρική ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται απευθείας αλλά διοχετεύεται στο δίκτυο προσμετρείται ως χρήσιμη ενέργεια παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά.

2. Απόδοση σειράς - Array Yield (Y_A)

Ο δείκτης Y_A δίνεται από την σχέση (45) και μας δείχνει πόσες ώρες ανά μέρα θα έπρεπε να παράγει το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο στην μέγιστη ισχύ του ώστε να παραχθεί η ενέργεια που τελικά μετρήθηκε από το πολυόργανο. Η τιμή του δείκτη είναι σε ώρες ανά ημέρα (h/d) και θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Μικρή τιμή αυτής θα σημαίνει αυτόματα και κάποια αστοχία στον προσανατολισμό, την κλίση, πιθανή εμφάνιση σκίασης ή κάποιο πρόβλημα στον αντιστροφέα (χαμηλή απόδοση).

$$Y_A = E_{pv,AC} / P_{nom} \quad (46)$$

όπου :

Y_A : ο δείκτης απόδοση σειράς (h/d).

$E_{pv,AC}$: η παραγόμενη ενέργεια μετά τον αντιστροφέα (kWh/d).

P_{nom} : η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του φ/β πάρκου (kWp).

3. Τελική απόδοση - Final Yield (Y_F)

Ο δείκτης Y_F δίνεται από την σχέση (46) και μας δείχνει πόσες ώρες ανά μέρα θα έπρεπε να παράγει το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο στην μέγιστη ισχύ του ώστε να παραχθεί η ενέργεια που τελικά είναι προς χρήση και είτε δίνεται στην ΔΕΗ, για τα διασυνδεδεμένα συστήματα, είτε καταναλώνεται από τα φορτία και αποθηκεύεται στις μπαταρίες, στα αυτόνομα συστήματα. Αν μιλάμε για αυτόνομα συστήματα, αυτό το μέγεθος διαφέρει αρκετά από το $E_{pv,AC}$ καθώς εισέρχονται απώλειες μπαταριών, καλωδίων καθώς και ένα μέρος της ενέργειας που κάποιες στιγμές πετιέται αν υπάρχει περίσσειμα και οι μπαταρίες είναι 100% φορτισμένες. Στην περίπτωση όπου έχουμε διασυνδεδεμένο πάρκο, υπάρχουν μόνο οι απώλειες καλωδιώσεων. Γενικά πάντως ο δείκτης αυτός είναι ένας αξιόπιστος τρόπος για να συγκρίνεις την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα διαφορετικού μεγέθους.

$$Y_F = E_{pv,USE} / P_{nom} \quad (47)$$

όπου :

Y_F : ο δείκτης τελικής απόδοσης (h/d).

$E_{pv,USE}$: η AC ενέργεια προς χρήση παραγόμενη από το φ/β πάρκο (kWh/d).

P_{nom} : η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του φ/β πάρκου (kWp).

4. Απώλειες Συστήματος - Systems Losses (L_s)

Ο δείκτης L_s δίνεται από την σχέση (47) και μας δίνει τις απώλειες που παρουσιάζονται κατά την μετατροπή της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας έως το σημείο που αυτή δίνεται προς κατανάλωση (AC).

$$L_s = Y_A - Y_F \quad (48)$$

Οι απώλειες αυτές ταξινομούνται ως εξής :

- Απώλειες κατά την μετατροπή στον αντιστροφέα
- Απώλειες κατά την αποθήκευση και κατανάλωση στις μπαταρίες (αυτόνομα συστήματα)
- Απώλειες συμβατότητας ϕ / β πλαισίων
- Απώλειες καλωδίων λόγω αντίστασης (R)

Το L_s δείχνει στην ουσία πόσες ώρες την μέρα πρέπει να δουλεύει το πάρκο στην ονομαστική του ισχύ για να καλύψει τις απώλειες από την παραγωγή ως την κατανάλωση.

5. Απόδοση αναφοράς - Reference Yield (Y_R)

Ο δείκτης Y_R δίνεται από την σχέση (47) και μας δίνει την μέση ημερήσια ακτινοβολία που προσπίπτει στα ϕ/β πλαίσια διαιρούμενη από την ακτινοβολία αναφοράς G_{STC} . Η G_{STC} είναι η ακτινοβολία για ιδανικές συνθήκες ηλιοφάνειας και ισούται με $1000W/m^2$. Ο δείκτης δείχνει τελικά πόσες ώρες απαιτούνται με ιδανική πρόσπτωση ακτινοβολίας $1000W/m^2$ ώστε να έχουμε την ίδια συνολική ακτινοβολία με αυτή που μετράμε μέσω ενός αισθητήρα και προσαρμόζεται σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο μέσω κάποιου μοντέλου ανάλυσης

$$Y_R = H_i / G_{stc} \quad (49)$$

όπου :

Y_R ο δείκτης απόδοσης αναφοράς (h/d)

H_i η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει ανά m^2 στα ϕ/β πλαίσια κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας ($kW h/m^2d$)

G_{STC} η ακτινοβολία αναφοράς STC ($1kW/m^2$)

6. Απώλειες ακτινοβολίας - Capture or irradiation Losses (L_c)

Ο δείκτης L_c δίνεται από την σχέση (48) και εκφράζει το μέγεθος της εισερχόμενης προσπίπτουσας ακτινοβολίας που τελικά χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ενέργειας

$$L_c = Y_R - Y_A \quad (50)$$

Οι απώλειες αυτές ταξινομούνται ως εξής:

- Απώλειες σκίασης
- Απώλειες ανακλάσεων πάνω στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο • Απώλειες προσανατολισμού – κλίσης
- Απώλειες ρύπανσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το L_c δείχνει στην ουσία πόσες ώρες μιας ημέρας ιδανικής ακτινοβολίας χάθηκαν από προβλήματα όπως τα προαναφερθέντα.

7. Λόγος απόδοσης -The Performance Ratio (P_R)

Ο λόγος απόδοσης P_R δίνεται από την σχέση (48) και εισάγεται για να χαρακτηρίσει την λειτουργία του συστήματος. Ουσιαστικά δείχνει πώς χρησιμοποιείται το ενεργειακό δυναμικό του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο και καθορίζεται σύμφωνα με το STC (Standard Tests Conditions).

$$P_R = Y_F / Y_R \quad (51)$$

Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος απόδοσης P_R τόσο καλύτερα το σύστημα χρησιμοποιεί το δυναμικό του. Αντιθέτως χαμηλή τιμή του μας φανερώνει προβλήματα κατά την μετατροπή που οφείλονται σε τεχνικά ή σχεδιαστικά προβλήματα της εγκατάστασης. Ο δείκτης P_R λοιπόν, ορίζεται ως η αναλογία της χρησιμοποιούμενης ηλιακής ενέργειας σε σχέση την ονομαστική ενέργεια. Στην ουσία μας προσδίδει την ποσόστωση των επιδράσεων που έχουν οι διάφορες απώλειες στην έξοδο του συστήματος (χρησιμοποιούμενη ενέργεια). Οι απώλειες αυτές μπορεί να αφορούν την κακή απόδοση του αντιστροφέα, την αντίσταση των καλωδίων, τις διάφορες ασυμβατότητες κατά την μετατροπή ισχύος από DC σε AC, την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών πάνω στα πλαίσια, την μειωμένη χρήση της ακτινοβολίας λόγω ανακλάσεων στην γυάλινη επιφάνεια των πλαισίων ή ακάθαρτων τμημάτων σ' αυτά και γενικά για οποιαδήποτε άλλη αστοχία των επιμέρους υλικών και συσκευών. Η τιμή αυτή P_R τυπικά αναφέρεται σε μηνιαία ή ετήσια βάση όπου εκεί μπορούν να βγουν και τα πιο χρήσιμα

συμπεράσματα για το σύστημα. Η αναφορά του δείκτη αυτού σε εβδομαδιαία ή ημερήσια βάση πιθανόν να είναι χρήσιμη μόνο για την εξακρίβωση ύπαρξης προβλημάτων του εξοπλισμού.

5.3 Μελέτη περίπτωσης: Ανάλυση απόδοσης φωτοβολταϊκού πάρκου στο νησί της Κρήτης

Το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πάρκο βρίσκεται στη Σητεία της Κρήτης, ένα νησί με πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την δημιουργία Φ/Β εγκαταστάσεων. Παρακάτω μελετείται και αξιολογείται η απόδοση του συγκεκριμένου πάρκου. Το συγκεκριμένο Φ/Β πάρκο έχει μέγιστη ισχύ 171.36 kW και βρίσκεται σε λειτουργία από το 2002. Μετά από παρακολούθηση ενός έτους με κατάλληλα μέσα του Φ/Β πάρκου, υπολογίζονται η απόδοσή του και οι διάφορες απώλειες ισχύος (θερμοκρασία, δίκτυο, ηλεκτρονικά ισχύος, διαθεσιμότητα πλέγματος Φ/Β πλασιών και αλληλοσύνδεση). Το Φ/Β πάρκο τροφοδότησε το δίκτυο με 229 MWh κατά τη διάρκεια του έτους 2007, με διακύμανση από 335.48 kWh έως 869.68 kWh. Η τελική απόδοση (YF) κυμάνθηκε από 1.96 έως 5.07 ώρες/μέρα (h/d) και ο λόγος απόδοσης (PR) κυμάνθηκε από 58% έως 73%, δίνοντας ένα ετήσιο PR 67.36 %.

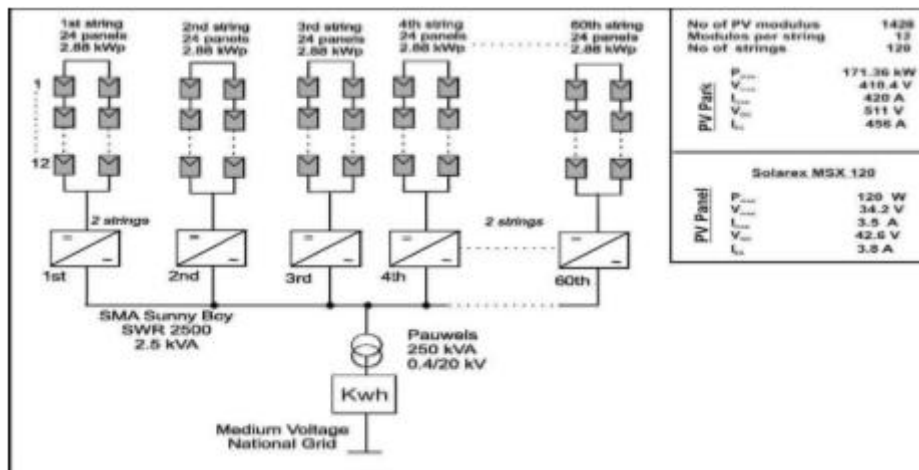
Ο χρόνος απόσβεσης μιας επένδυσης στην Ελλάδα, μια περιοχή με μεγάλη έκθεση στον ήλιο, είναι από τους μικρότερους στην Ευρώπη. (Οι υπέρμετρες φορολογήσεις βέβαια είναι ένα άλλο θέμα). Η ανάλυση της απόδοσης ενός μεγάλου Φ/Β πάρκου σε ένα νησί όπως η Κρήτη, με τιμές ηλιοφάνειας από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη, είναι μεγάλης σημασίας διότι δίνει επιπλέον κίνητρο στους πιθανούς επενδυτές βλέποντας μέσω αυτής τις πιθανότητες να έχουν οικονομικά ανταλλάγματα από την επένδυσή τους. Επιπλέον, η εκτίμηση της απόδοσης με πραγματικά δεδομένα επιτρέπει την ανακάλυψη επιχειρησιακών προβλημάτων, διευκολύνει τη σύγκριση συστημάτων που μπορεί να διαφέρουν στη σχεδιάσή τους και αξιολογεί την αλληλεπίδραση του πάρκου με το τοπικό δίκτυο, κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό σε ένα μεγάλο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα, σαν αυτό που μελετάμε.

5.3.1 Το φωτοβολταϊκό πάρκο

Το Φ/Β πάρκο έχει εγκατεστημένη χωρητικότητα 171.36 kW, δίκτυο συνδεδεμένο με γραμμή μετάδοσης 20 kV και καλύπτει συνολική επιφάνεια 3784 m² με ενεργή επιφάνεια 1142.4 m². Το πάρκο αποτελείται από 1428 πολυκρυσταλλικά πάνελ σιλικόνης της BP Solar. Τα Φ/Β πάνελ είναι διατεταγμένα σε 120 παράλληλες γραμμές, με 12 πάνελ η καθεμιά και συνδέονται με 60 αντιστροφείς τύπου Sunny Boy SB2500. Επίσης, υπάρχουν κουτιά σύνδεσης, όργανα μέτρησης θερμοκρασίας και ακτινοβολίας και σύστημα καταγραφής δεδομένων. Το Φ/Β σύστημα είναι ανυψωμένο στις 30° και έχει προσανατολισμό προς το νότο στηριζόμενο σε βάσεις από ανοξείδωτο ατσάλι. Η γωνία των 30° επιλέγεται για μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας. Στην εικόνα 23 φαίνεται το φ/β πάρκο και στην εικόνα 24 φαίνεται ένα σχηματικό κυκλωματικό διάγραμμα των ηλεκτρικών συνδέσεων του συστήματος.



Εικόνα 23 : Το φωτοβολταϊκό πάρκο με τα πάνελ να έχουν γωνία 30° και προσανατολισμό προς το Νότο.



Εικόνα 24 : Σχηματικό κυκλωματικό διάγραμμα του φ/β συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

6.1 Επιθεώρηση και πιστοποίηση έργων κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το τελευταίο χρονικό διάστημα παρατηρείται μια δυναμική ανάπτυξη φ/β εγκαταστάσεων, ως αποτέλεσμα εφαρμογής του νόμου 3851/2010, ο οποίος αποτελεί συνέχεια των νόμων 3734/2009 και 3468/2006, λόγω του ότι οι συγκεκριμένες επενδύσεις παρουσιάζονται και προωθούνται ως μηδενικού ρίσκου, χάρη στην εγγυημένη ανταπόδοση του σταθμού σε βάθος χρόνου. Ουσιαστικά δηλαδή, θεωρείται δεδομένο ότι θα γίνει απόσβεση της επένδυσης σε κάποιο χρονικό διάστημα από την ολοκλήρωση της κατασκευής της φ/β εγκατάστασης, από την στιγμή που η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας θα ξεκινήσει από την έναρξη της λειτουργίας της εγκατάστασης. Η πιστοποίηση της ποιότητας ενός τέτοιου έργου, απευθύνεται σε πληθώρα διαφορετικών εμπλεκόμενων μερών :

- a. Σε ιδιώτες επενδυτές – παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα
- b. Σε εγκαταστάτες φ/β συστημάτων
- c. Σε ιδιώτες για οικιακές εφαρμογές (φ/β συστήματα σε στέγες)
- d. Σε οργανωμένες μεγάλες μονάδες φ/β πάρκων
- e. Σε τράπεζες που δανειοδοτούν μια επένδυση για τη μείωση του διαχειριστικού Κινδύνου
- f. Σε ασφαλιστικούς οργανισμούς που ασφαλίζουν το έργο

Η πιστοποίηση φ/β συστημάτων καθίσταται απαραίτητη, διότι :

1. Είναι ευκολότερη η δανειοδότηση της επένδυσης από την τράπεζα
2. Βελτιστοποιείται η αξιοπιστία της υλοποίησης της μελέτης
3. Αυξάνεται η αξιοπιστία της επένδυσης απέναντι σε τρίτους
4. Υπάρχει με αυτόν τον τρόπο η τελική επιβεβαίωση της ορθής υλοποίησης της μελέτης και της εγκατάστασης από Οργανισμό Πιστοποίησης διεθνούς κύρους και αξιοπιστίας
5. Διασφαλίζεται η υψηλή ποιότητα κατασκευής και η ορθή λειτουργία της εγκατάστασης

6.2 Πιστοποίηση σε όλες τις φάσεις κατασκευής ενός φ/β συστήματος

Μία πλήρης παροχή υπηρεσιών πιστοποίησης της ποιότητας, που έχει να κάνει με την κάλυψη όλων των φάσεων κατασκευής ενός φ/β συστήματος και προτείνεται από την εταιρεία επιθεώρησης και πιστοποίησης έργων παραγωγής ενέργειας TÜV AUSTRIA HELLAS [11] παρατίθεται παρακάτω :

- Έλεγχος και πιστοποίηση βάσεων στήριξης φ/β συστημάτων βάσει των Ευρωκωδίκων 1, 3 και 9 και του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2000 (Ε.Α.Κ. 2000).
- Έλεγχος και πιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης του έργου με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και βάσει της τελικής μελέτης εφαρμογής.
- Έλεγχος της πληρότητας του τεχνικού φακέλου και ανασκόπηση της μελέτης εγκατάστασης ως προς την αναμενόμενη οικονομική απόδοση του συστήματος .
- Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραλαβή των υλικών που θα ενσωματωθούν στο έργο και πλήρη ανασκόπηση των συνοδευτικών τους εγγράφων με σκοπό τη συμμόρφωση ως προς τις τεχνικές προδιαγραφές (π.χ. γεωμετρία και ισχύς πάνελ, ταξινόμηση, διατομές καλωδίων, διατομές πασσάλων, πίνακες κ.τ.λ.) .
- Επιτόπου επισκέψεις επιθεωρητών διαφόρων ειδικοτήτων (Πολιτικού, Μηχανολόγου και Ηλεκτρολόγου Μηχανικού) σε όλα τα στάδια κατασκευής της εγκατάστασης (π.χ. τοποθέτηση πασσάλων και βάσεων στήριξης φ/β συστημάτων και σύνδεση αυτών, τοποθέτηση φ/β πάνελ και σύνδεση τους με τις βάσεις στήριξης, τοποθέτηση καλωδίων και πινάκων, ηλεκτρολογικές συνδέσεις) και πιστοποίηση αυτής.
- Επαλήθευση ηλεκτρολογικών μεγεθών εγκατάστασης βάσει μελέτης ή/και των απαιτήσεων των προτύπων EN 62446:2009 και HD 384 (π.χ. έλεγχος θεμελιακής γείωσης, αντικεραυνικής προστασίας, SPDs (Surge Protection Devices), βραχυκυκλωμάτων, καλής λειτουργίας αντιστροφέα, κ.τ.λ.)
- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης – παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.
- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων.

6.3 Πιστοποίηση ποιότητας γραμμής παραγωγής φ/β πλαισίων

Ο όμιλος Solar Cells Hellas [14], παραγωγός δισκίων πυριτίου (Wafers) και φ/β στοιχείων (solar cells) πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αποδεικνύει την αφοσίωσή του στην παροχή προϊόντων υψηλής ποιότητας, έχοντας πραγματοποιήσει επιτυχώς την πιστοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των φ/β πλαισίων της εταιρείας Soltech A.E. κατά τα διεθνή πρότυπα ISO και OHSAS. Η επιθεώρηση έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της Soltech στην βιομηχανική περιοχή Πατρών από τον φορέα TÜV Rheinland Greece (www.tuvhellas.gr), μέλος του ομίλου TÜV Rheinland, με ηγετική θέση σε διεθνές επίπεδο στις υπηρεσίες ανεξάρτητων ελέγχων και επιθεωρήσεων. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της επιθεώρησης πιστοποιήθηκε η λειτουργία της γραμμής παραγωγής φ/β πλαισίων σύμφωνα με τα ακόλουθα πρότυπα :

- ISO 9001 : 2008. Πρόκειται για Σύστημα Διασφάλισης Ποιότητας η εφαρμογή του οποίου συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και εξασφαλίζει τη σταθερότητα της ήδη υπάρχουσας ποιότητας καθώς και την αξιοπιστία των προϊόντων και υπηρεσιών.
- ISO 14001 : 2004. Το Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, τη διαρκή βελτίωση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και φυσικών πόρων.
- OHSAS 18001. Με το Σύστημα Διαχείρισης Υγιεινής και Ασφάλειας Εργασίας προάγεται η διαχείριση του κινδύνου στην εργασία, που σχετίζεται με τις δραστηριότητες του Οργανισμού καθώς και η Υγιεινή και η Ασφάλεια της Εργασίας.

Επιπλέον, η πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία παραγωγής στις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις στην βιομηχανική περιοχή Πατρών συνολικής δυναμικότητας 80MW ετησίως, διασφαλίζουν ότι οι φ/β γεννήτριες ανταποκρίνονται στις υψηλότερες προδιαγραφές ποιότητας, σημειώνοντας τα παρακάτω συγκριτικά αποτελέσματα :

- Υψηλή διάρκεια ζωής με μέγιστη απόδοση φ/β στοιχείων έως 16.2%.
- Πιστοποιημένα σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα IEN EN 61215 : 2005, ed. 2 και 61730 : 2007 (τμήμα 1ο και 2ο) .
- Εγγύηση προϊόντος έως και 5 χρόνια .
- Εγγύηση απόδοσης 10 ετών στο 90% της ονομαστικής ισχύος και 25 ετών στο 80%
- Πιστοποιημένη μηχανική αντοχή για φορτία των 2400 Pa έως και 5400 Pa εξασφαλίζοντας υψηλή αντοχή τους σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. όπως η έντονη χιονόπτωση, οι ισχυροί άνεμοι καθώς και υψηλό ποσοστό υγρασίας .

- Μοναδική κατασκευή με την χρήση επιμέρους υλικών υψηλής ποιότητας .
- Πιστοποίηση παραγωγικών διεργασιών με ISO 9001, ISO 14001 και OHSAS 18001 .
- Υποστήριξη και μετά την πώληση .

Τα οφέλη της εταιρείας από την εφαρμογή των παραπάνω προτύπων θεωρούνται ως υψίστης σημασίας τόσο για την ίδια την εταιρεία, τα στελέχη και τους εργαζομένους της, όσο και για τις άλλες εταιρείες που συνεργάζονται με αυτή.

6.4 Περιπτώσεις εταιρειών και συστήματα πιστοποίησης

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν κάποιες εταιρείες που ασχολούνται με την κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων και τα πρότυπα πιστοποίησης που αυτές χρησιμοποιούν. Μία από αυτές τις εταιρείες είναι και η Enfoton Solar Ltd [13] που ιδρύθηκε το Φεβρουάριο του 2002. Στόχος των ιδρυτών της ήταν να εξυπηρετήσουν ένα μεγάλο φάσμα χρήσεων ηλιακής ενέργειας εισάγοντας έτσι μια καθαρή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στην Κύπρο καθώς και σε άλλες χώρες της ανατολικής Μεσογείου. Το όραμα της εταιρείας ήταν να γίνει ένας πρωτοπόρος κατασκευαστής φωτοβολταϊκών πλασιών στη Νότια Ευρώπη. Από το 2002 η Enfoton Solar Ltd είχε ήδη εξασφαλίσει πιστοποίηση στη βάση του συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας ISO 9001 : 2000 το οποίο έχει σήμερα εκσυγχρονιστεί με την τελευταία έκδοση ISO 9001 : 2008. Η εταιρεία είναι επίσης πιστοποιημένη για το σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14001 και το σύστημα Εργασιακής Ασφάλειας και Υγείας OHSAS 18001. Τα προϊόντα της εταιρείας συνάδουν με τα πρότυπα EN 61215 : 2005 και EN 61730 : 2005 και είναι πιστοποιημένα από τους έγκυρους Οργανισμούς πιστοποίησης TÜV Γερμανίας και ICIM Ιταλίας.

Άλλη μια εταιρεία είναι και η SILCIO, που είναι η πρώτη εταιρία που πιστοποίησε πλαίσια από ελληνικά φ/β κύτταρα τον Ιούλιο του 2009. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της SILCIO έχουν αναγνωριστεί για την υψηλή τους ποιότητα, εξασφαλίζοντας το μέγιστο βαθμό απόδοσης και κατά συνέπεια το μέγιστο οικονομικό όφελος για τους τελικούς πελάτες και επενδυτές. Η εταιρεία έχει εξαγωγικό κυρίως χαρακτήρα και δραστηριοποιείται στην απαιτητική Ευρωπαϊκή αγορά. Η SILCIO έχει εξάγει φωτοβολταϊκά κύτταρα σε Ιταλία, Τουρκία, Ισπανία και Γερμανία. Μέχρι το τέλος του 2010, στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκά πλαίσια της SILCIO ισχύος πάνω από 8MW. Με σκοπό τη διασφάλιση ποιότητας των προϊόντων της, την προστασία του περιβάλλοντος και την ασφάλεια του προσωπικού, η SILCIO έχει πιστοποιηθεί κατά τα διεθνή πρότυπα ποιότητας ISO 9001:2008 (Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας), 14001:2004 (Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης Ποιότητας) και OHSAS18001 (Σύστημα Διαχείρισης Υγιεινής και Ασφάλειας στην Εργασία), ενώ τα πλαίσιά της έχουν πιστοποιηθεί με CE (IEC 61215 και EN 61730 1/2) από την TÜV.

Η εταιρεία Eco Energia A.E. [12] είναι μια σύγχρονη τεχνική εταιρεία ειδικευμένη στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες στη σχεδίαση και την κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρεία έχει ως βασικό της στόχο την παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας στο χώρο της ενέργειας,

έχοντας επίσης συμμετοχή σε Ηλεκτρομηχανολογικά έργα και σε εγκαταστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε βιομηχανικά κτίρια. Η εταιρεία είναι πιστοποιημένη με το πρότυπο ISO 9000 για να πιστοποιεί τις παρεχόμενες υπηρεσίες της και με την ύπαρξη επιπλέον έμπειρης και εκπαιδευμένης ομάδας μηχανικών εξασφαλίζει και εγγυάται την άρτια μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση κάθε ενεργειακής επένδυσης. Για την υλοποίηση των εγκαταστάσεων συνεργάζεται με πρωτοπόρους και καταξιωμένους κατασκευαστές, εξασφαλίζοντας κορυφαίας ποιότητας και τεχνολογικά προηγμένα υλικά και γι αυτόν το λόγο κατέχει την πιστοποίηση EN ISO 9000:2008, όχι μόνο για τη μελέτη εφαρμογής, πώληση και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά και για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που σημαίνει ότι ακολουθείται συγκεκριμένη μεθοδολογία κατασκευής σε όλα τα έργα της εταιρείας εξασφαλίζοντας για τους πελάτες της πιστοποιημένη, υψηλής ποιότητας εγκατάσταση όλου του εξοπλισμού, συνδεσμολογία και υπηρεσίες εργασιών στο εργοτάξιο από την αρχή μέχρι και την παράδοση του πάρκου συνδεδεμένου με την Δ.Ε.Η.

Τέλος, άλλη μια εταιρεία που αντικείμενο της είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) και χρησιμοποιεί συστήματα πιστοποίησης είναι και η ALFA ENERGY. Η συγκεκριμένη εταιρεία διαθέτει συστήματα που χρησιμοποιούνται για την στήριξη φωτοβολταϊκών πλαισίων σε φωτοβολταϊκά πάρκα. Τα συστήματα της εταιρείας κατασκευάζονται με τις αυστηρότερες προδιαγραφές και μπορούν να ανταποκριθούν σε κάθε είδους καταπόνησης. Τα συστήματα ALFA ENERGY έχουν σχεδιαστεί και μελετηθεί για τη στατική τους επάρκεια σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, τον Ευρωκώδικα 9 (DESIGN OF ALUMINIUM STRUCTURES) και τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό 2000 (ΕΑΚ 2000). Ανταποκρίνονται άριστα στις καταπονήσεις (ίδιο βάρος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανεμοπίεση, χιονόπτωση, σεισμικότητα) και παράλληλα προσφέρουν αρκετές επιλογές για να καλύπτουν κάθε τύπο και επιφάνεια τοποθέτησης. Ο συνδυασμός της αντοχής των συστημάτων με την ευκολία στη συναρμολόγησή τους, ελαχιστοποιεί το κόστος εγκατάστασης για τον κατασκευαστή, χαμηλώνει το κοστολόγιο και καθιστά τα συστήματα αυτά πολύ ανταγωνιστικά. Τα συστήματα ALFA ENERGY είναι πιστοποιημένα από τους μεγαλύτερους και εγκυρότερους Οργανισμούς Πιστοποίησης Ποιότητας κατά EN ISO 9001 : 2008 και παραγόμενα με πιστοποιημένες διαδικασίες παραγωγής φιλικές προς το περιβάλλον κατά ISO 14001 : 2004

6.5 Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001 : 2008

Το πρότυπο πιστοποίησης ISO 9001 : 2008 όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, είναι ένα σύστημα πιστοποίησης ποιότητας που χρησιμοποιείται από εταιρείες που ασχολούνται με την κατασκευή φ/β συστημάτων για την πιστοποίηση της ποιότητας των προϊόντων τους. Πάνω σε αυτό στηρίζεται η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας. Το σύστημα αυτό καθορίζει το γενικό πλαίσιο που απαιτείται από την επιχείρηση για να παρέχει ένα αποδεκτό προϊόν ή υπηρεσία. Το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001 : 2008 μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε επιχείρηση και να αποτελέσει μέρος της δράσης της για ανάπτυξη. Κάποιες από τις βασικές αρχές και χαρακτηριστικά που το διέπουν παρατίθενται παρακάτω.

1) Έννοια και πεδίο εφαρμογής Ποιότητα, κατά το συγκεκριμένο σύστημα, είναι :

- Η αντίληψη των αναγκών του πελάτη
- Ο έλεγχος της εμπορικής – παραγωγικής διαδικασίας .
- Η παρακολούθηση σημαντικών παραμέτρων.
- Η διαρκής βελτίωση των προσφερόμενων προϊόντων – υπηρεσιών.

2) Αναμενόμενα οφέλη:

- Αξιολόγηση και έλεγχος της ποιότητας των προϊόντων – υπηρεσιών .
- Διαρκής βελτίωση και σταθερή ποιότητα προϊόντων – υπηρεσιών .
- Εκσυγχρονισμός και καλύτερη οργάνωση των δραστηριοτήτων της Επιχείρησης
- Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά, συμμετοχή σε νέες αγορές και διαγωνισμούς.
- Εδραίωση της εμπιστοσύνης των πελατών.

3) Μεθοδολογία ανάπτυξης του συστήματος • Αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης – Καθορισμός οργανογράμματος – Δημιουργία ομάδας ISO 9001 :2008 • Συλλογή δεδομένων Προϊόντος – Υπηρεσίας :

- Καθιέρωση διαδικασιών τεκμηρίωσης και επαλήθευσης του συστήματος.

- Σύνταξη περιγραφών θέσεων εργασίας, οδηγιών εργασίας, εντύπων, προδιαγραφών, εγχειριδίου ποιότητας.

- Τεκμηρίωση πολιτικής ποιότητας και καταγραφή αντικειμενικών στόχων .

- Εσωτερικές επιθεωρήσεις ποιότητας • Πιστοποίηση συστήματος κατά το πρότυπο ISO 9001:2008 από ανεξάρτητο φορέα πιστοποίησης (Ισχύς πιστοποιητικού για 3 χρόνια, αξιολόγηση από τον φορέα και ανανέωση κάθε χρόνο).

- Διορθωτικές ενέργειες μετά την πιστοποίηση

- Παρακολούθηση συστήματος

4) Λόγοι υιοθέτησης του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001:2008:

- Πιέσεις από το εξωτερικό επιχειρηματικό περιβάλλον, πχ :
 - a) Στρατηγική και ενέργειες του ανταγωνισμού .
 - b) Απαιτήσεις και ανάγκες Προμηθευτών και Πελατών .
- Εσωτερικές Ανάγκες, πχ : Προβλήματα ποιότητας και οργάνωσής της
Βελτίωση οργανωτικής δομής για την αποτελεσματική διοίκηση της ποιότητας .
- Επιχειρηματική Στρατηγική, πχ : Ενδεχόμενο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσα από αποτελεσματική επικοινωνία της ποιότητας των προϊόντων – υπηρεσιών και της διασφάλισης των απαιτήσεων των πελατών.

6.6 Πιστοποίηση συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου

Η εταιρεία PAIRAN κατασκευάζει συστήματα αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου για τις Η.Π.Α. και τον Καναδά που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις προκειμένου να έχουν αυξημένη απόδοση. Η ειδική εταιρεία στην κατασκευή φωτοβολταϊκών από το Göttingen της Γερμανίας, PAIRAN, είναι η πρώτη παγκοσμίως επιχείρηση που κατέχει πιστοποίηση από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά για τα ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου. Με αυτήν την πιστοποίηση, η γερμανική επιχείρηση έχει εξασφαλίσει αποκλειστική πρόσβαση στις αμερικανικές και καναδικές αγορές. Τα πιστοποιητικά ασφαλείας UL και CSA εκδόθηκαν από την αναγνωρισμένη αρχή πιστοποίησης, Curtis Strauss.

Μέχρι τώρα, τα πιστοποιητικά χορηγούνταν μόνο για μεμονωμένα τμήματα διάφορων συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου, όπως για παράδειγμα, για τα συστήματα χειρισμού. Με την πιστοποίηση της σειράς των ολοκληρωμένων συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου SF-10 έως SF-60, η εταιρεία στόχευσε στην κατάκτηση των υπερπόντιων αγορών φωτοβολταϊκών. "Χωρίς την επίσημη πιστοποίηση ασφαλείας η ένταξη των προϊόντων μας στους αμερικανικούς και καναδικούς εμπορικούς καταλόγους θα ήταν αδύνατη", εξηγεί ο Peter Fleitmann, διευθυντής του Τμήματος διεθνών πωλήσεων. "Με αυτήν την πιστοποίηση από το εργαστήριο Curtis Strauss, τα προϊόντα μας έχουν εγκριθεί με βάση τα αυστηρότερα επίσημα πρότυπα ασφαλείας και πλέον μπορούμε να προσεγγίσουμε τις νέες αγορές με τις καλύτερες δυνατές προϋποθέσεις." Η γερμανική εταιρεία παροχής προϊόντων ποιότητας, PAIRAN, έχει ήδη στο ενεργητικό της περισσότερα από 10.000 εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου σε όλον τον κόσμο.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες θεωρούν τη Γερμανία ως μια από τις μεγαλύτερες αγορές φωτοβολταϊκών στον κόσμο. Αυτό οφείλεται κυρίως στα επενδυτικά κίνητρα για την κατασκευή μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων που παρέχονται στη Γερμανία. Στα ερχόμενα έτη, οι ειδικοί προβλέπουν μια δυναμική άνθιση στην αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Bloomberg New Energy Finance προβλέπει ότι μέχρι το 2020, μόνο στην Αμερική, η τρέχουσα ισχύς των φωτοβολταϊκών θα αυξηθεί από 1,4 GW σε 44 GW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- Συπεράσματα

Η ποιότητα κατά την κατασκευή συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα του έργου. Αν κατά την κατασκευή δεν προσεχθεί αρκετά ένα σημείο, ενδέχεται να προκύψουν ελαττώματα γεγονός που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη της ανακατασκευής. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις λόγω αυτού του γεγονότος. Μια σωστή εταιρεία προσπαθεί και διασφαλίζει την ποιότητα του συστήματος αυτού κατά την κατασκευή του, αλλά ακόμα σημαντικότερο ρόλο για την ποιότητά του αποτελεί το κομμάτι της σχεδίασής του

Στην ποιοτική κατασκευή του φ/β πάρκου σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασής του, κάτι που εξαρτάται από τον προσανατολισμό των φ/βπλαισίων, τα προβλήματα σκιασμών, τη στατική μελέτη και τα υλικά στήριξης.

Επιπλέον για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός φ/β πάρκου χρησιμοποιούνται όπως είδαμε κάποιοι Δείκτες Αξιολόγησης, όπως είναι το Ηλιακό κλάσμα, η Απόδοση σειράς, η Τελική απόδοση, οι Απώλειες Συστήματος, η Απόδοση αναφοράς, οι Απώλειες ακτινοβολίας και ο Λόγος απόδοσης. Επίσης η ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοσή του που έχει να κάνει με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, βάσεων στήριξης αλλά και πολλών άλλων παραγόντων. Η απόδοση του φ/β συστήματος εξαρτάται σημαντικά από τη σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη θερμοκρασία του φ/β στοιχείου.

Για την κάλυψη όλων των φάσεων κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος προτείνονται τα εξής :

- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης-παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.

- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων

Για αιολικά πάρκα σημαντικό ρόλο για την ποιότητά τους παίζουν η επιλογή τοποθεσίας του αιολικού πάρκου, η ποιότητα ισχύος του και η αξιοπιστία της αιολικής ενέργειας που θα παράγει. Για ένα γεωθερμικό σύστημα οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του συστήματος, που έχει άμεση σχέση με την απόδοσή του είναι:

- Ο σχεδιασμός του συστήματος
- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- Η ποιότητα εγκατάστασης
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Όσον αφορά τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητά τους είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ. Τέλος, όσον αφορά τη βιομάζα, κάποιες ενέργειες που μπορούν να επηρεάζουν την ποιότητά της είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες, η διερεύνηση και αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, η εκτέλεση πιλοτικών έργων εκμετάλλευσης βιομάζας σε συνεργασία με τρίτους, η αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού φυτών καλλιεργούμενων σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη κ.α.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ICAP 2009, 'Κλαδική Μελέτη – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας', Αθήνα
2. CRES, 1996. Guide to Renewable Energy Sources. Possibilities of use by Local Administrations
3. California Energy Commission, "A guide to photovoltaic (PV) system design installation", First Edition, Endecon Engineering, June 2001
4. Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
5. Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις, Τμήμα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Διεσπαρμένης Παραγωγής, Διεύθυνση ΑΠΕ, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας ΚΑΠΕ, Αύγουστος 2009.
6. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete Emmanuel Kymakis, Sofoklis Kalykakis, Thales M. Papazoglou, Electrical Engineering Department, Technological Educational Institute (TEI) of Crete, 2009
7. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά» (Σεπτέμβριος 2010)
8. Eco Energia A.E. / www.ecoenergia.gr
9. Σ.Δ. Περδίδης: «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Αθήνα 2007
10. Αντωνόπουλος Κ.: «ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Πολυτεχνειακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο (2004)